



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Προηγμένα Συστήματα και Μέθοδοι στη Βιοϊατρική Τεχνολογία»

**Φορητές ρομποτικές συσκευές για την
υποβοήθηση της κινητικότητας σε
ηλικιωμένους ασθενείς**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ : ΣΤΑΥΡΟΣ ΝΙΚΟΛΑΣ

Αριθμός Μητρώου: 2112

Επιβλέπων Καθηγητής

Παντελεήμων Ασβεστάς

Αθήνα 26/09/2024

Η Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ο Επιβλέπων Καθηγητής

ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ ΑΣΒΕΣΤΑΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΓΚΛΩΤΣΟΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο υπογράφων Σταύρος Νικόλας του Θανάση με αριθμό μητρώου 2112 φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ημερομηνία 26/09/2024

Ο Δηλών: Σταύρος Νικόλας



Περίληψη

Η γήρανση του παγκόσμιου πληθυσμού έχει οδηγήσει σε αξιοσημείωτη αύξηση των προκλήσεων κινητικότητας μεταξύ των ηλικιωμένων ατόμων, γεγονός που έχει σημαντική επίδραση στη συνολική ευημερία τους και στην ικανότητά τους να ζουν ανεξάρτητα. Η παρούσα εργασία εξετάζει τις δυνατότητες των φορητών ρομποτικών συσκευών ως μέσο αντιμετώπισης των δυσκολιών κινητικότητας. Προσφέρει μια διεξοδική ανάλυση της ανάπτυξης, της λειτουργικότητας και των συνεπειών τους.

Το Κεφάλαιο 1 παρέχει μια επισκόπηση της έκτασης των προκλήσεων κινητικότητας που αντιμετωπίζουν οι ηλικιωμένοι και διερευνά τις φορητές ρομποτικές τεχνολογίες ως πιθανή και ενθαρρυντική λύση. Αυτή η δήλωση εισάγει τη σημασία της κατανόησης του τρόπου με τον οποίο αυτές οι συσκευές μπορούν να ξεπεράσουν τους περιορισμούς που προκαλούνται από τα προβλήματα κινητικότητας που σχετίζονται με την ηλικία και παρέχει μια επισκόπηση των στόχων και της έκτασης της διατριβής.

Στο Κεφάλαιο 2, εξετάζεται η ιστορική εξέλιξη των φορητών ρομπότ, καταγράφοντας την εξέλιξη της τεχνολογίας από τα αρχικά πρωτότυπα μέχρι τα πιο προηγμένα συστήματα που είναι διαθέσιμα σήμερα.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο, το οποίο εξετάζει συγκεκριμένα τις έννοιες για την υποβοήθηση της ρομποτικής κινητικότητας και τη βιομηχανική που σχετίζεται με τη γήρανση. Η μελέτη διερευνά τον σχεδιασμό φορητών gadgets για την προσαρμογή στις σωματικές αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία και εξετάζει τις ηθικές ανησυχίες και τη δεκτικότητα των χρηστών.

Στο κεφάλαιο 4, η εστίαση εστιάζεται στο σχεδιασμό φορητών ρομποτικών συσκευών. Αυτό περιλαμβάνει μια λεπτομερή εξέταση των σημαντικών χαρακτηριστικών και προδιαγραφών που είναι απαραίτητες για την υποστήριξη των ηλικιωμένων χρηστών. Ταξινομούνται διάφοροι τύποι συσκευών, αξιολογείται η λειτουργία τους και εξετάζονται ζητήματα ασφάλειας, άνεσης και χρηστικότητας.

Το Κεφάλαιο 5 διερευνά τις δυσκολίες και τους περιορισμούς, όπως οι περίπλοκες τεχνικές λεπτομέρειες, οι υφιστάμενοι τεχνολογικοί περιορισμοί και τα κοινωνικά εμπόδια στην αποδοχή. Η μελέτη αυτή προσφέρει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται κατά το σχεδιασμό των συσκευών, τη συντήρηση και την ενσωμάτωση των χρηστών. Επιπλέον, προτείνει πιθανούς τομείς για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη.

Το Κεφάλαιο 6 εξετάζει τα δευτερογενή δεδομένα που προέκυψαν από προηγούμενες δοκιμές και μελέτες, αξιολογώντας την επιρροή και την αποτελεσματικότητα των φορητών συσκευών. Η εργασία παρέχει μια συνοπτική επισκόπηση των σημαντικών ανακαλύψεων, αντιπαραβάλλει τις διάφορες τεχνολογίες και τονίζει τις πολύτιμες γνώσεις που αποκτήθηκαν.

Το κεφάλαιο 7 κλείνει με μια συνοπτική επισκόπηση των ερευνητικών ευρημάτων και συζητά τη σημασία τους στο ευρύτερο πλαίσιο της φροντίδας ηλικιωμένων και της τεχνολογίας. Η εργασία προσφέρει προτάσεις για περαιτέρω μελέτη, βελτιώσεις στο σχεδιασμό και κανονιστικές τροποποιήσεις για την ενθάρρυνση της ευρύτερης αποδοχής του φορητού ρομποτικού εξοπλισμού. Οι τελικές παρατηρήσεις εξετάζουν την ικανότητα των εν λόγω συσκευών να φέρουν επανάσταση στην υποβοήθηση της κινητικότητας των ηλικιωμένων ατόμων, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για συνεχή καινοτομία που να συνάδει με τις απαιτήσεις των χρηστών και τα ζητήματα δεοντολογίας.

Η παρούσα εργασία παρέχει μια διεξοδική εξέταση των φορητών ρομποτικών συσκευών που έχουν σχεδιαστεί για την ενίσχυση της κινητικότητας στον ηλικιωμένο πληθυσμό. Παρέχει λεπτομερή ανάλυση της ανάπτυξής τους, της αποτελεσματικότητάς τους και των εμποδίων που συναντήθηκαν κατά την εφαρμογή τους. Στόχος είναι η πραγματοποίηση τεχνολογικών εξελίξεων που αυξάνουν την κινητικότητα και την ανεξαρτησία των ηλικιωμένων, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής τους.

Abstract

The aging of the world population has led to a notable increase in mobility challenges among older individuals, which has had a substantial influence on their overall well-being and ability to live independently. This thesis examines the possibilities of wearable robotic devices as a means of addressing mobility difficulties. It offers a thorough analysis of their development, functionality, and ramifications.

Chapter 1 provides an overview of the extent of mobility challenges experienced by older adults and explores wearable robotic technologies as a potential and encouraging solution. This statement introduces the importance of comprehending how these gadgets can overcome the constraints caused by age-related mobility problems and provides an overview of the objectives and extent of the thesis.

In Chapter 2, the historical progression of wearable robots is examined, documenting the evolution of technology from initial prototypes to the most advanced systems available now. Chapter 3 introduces the theoretical framework, which specifically examines the concepts for aiding robotic mobility and the biomechanics associated with aging. The study investigates the design of wearable gadgets to accommodate age-related physical changes and examines ethical concerns and user receptiveness.

In Chapter 4, the focus is on the design of wearable robotic devices. This includes a detailed examination of the important features and specifications that are essential for supporting older users. It classifies various types of devices, assesses their operation, and deals with safety, comfort, and usability concerns.

Chapter 5 explores the difficulties and restrictions, such as intricate technicalities, existing technological limitations, and societal obstacles to acceptance. This study offers valuable insights into the challenges encountered in device design, maintenance, and user integration. Additionally, it proposes potential areas for future research and development.

Chapter 6 examines the secondary data obtained from previous trials and studies, assessing the influence and efficacy of wearable devices. The thesis provides a concise overview of important discoveries, contrasts various technologies, and emphasizes valuable insights gained.

Chapter 7 closes by providing a concise overview of the research findings and discussing their importance within the wider framework of aged care and technology. The thesis offers suggestions for further study, enhancements in design, and regulatory modifications to encourage broader acceptance of wearable robotic equipment. Final remarks contemplate the

capacity of these gadgets to revolutionize mobility aid for elderly individuals, highlighting the necessity for continuous innovation that is in line with user requirements and ethical issues.

This thesis provides a thorough examination of wearable robotic devices designed to enhance mobility in the older population. It gives detailed analysis of their development, effectiveness, and the obstacles encountered during their implementation. The objective is to make technological advancements that increase the mobility and independence of older persons, hence enhancing their quality of life.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Επισκόπηση των προβλημάτων κινητικότητας στους ηλικιωμένους.....	10
1.2	Σκοπός και πεδίο εφαρμογής της διπλωματικής εργασίας.....	22
2	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	23
2.1	Ιστορική εξέλιξη των φορητών ρομποτικών συσκευών.....	23
2.2	Τρέχουσες τεχνολογίες στην υποστήριξη της κινητικότητας.....	28
3	Θεωρητικό πλαίσιο.....	34
3.1	Αρχές Υποβοήθησης της Ρομποτικής Κινητικότητας.....	34
3.2	Εμβιομηχανική της γήρανσης και πώς οι φορητές συσκευές μπορούν να βοηθήσουν 41	
3.3	Ηθικοί προβληματισμοί και αποδοχή από τον χρήστη.....	43
4	Σχεδιασμός φορητών ρομποτικών συσκευών	46
4.1	Βασικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές για την υποβοήθηση κινητικότητας ηλικιωμένων	46
4.2	Συζήτηση διαφορετικών μοντέλων και τύπων φορητών ρομπότ	53
4.3	Ζητήματα σχετικά με την ασφάλεια, την άνεση και την ευκολία χρήσης	58
5	Προκλήσεις και περιορισμοί	65
5.1	Τεχνικές προκλήσεις στο σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα.....	65
5.2	Περιορισμοί στην τρέχουσα τεχνολογία και δυνητικοί τομείς για μελλοντική έρευνα 66	
5.3	Κοινωνικά και ατομικά εμπόδια στην υιοθέτηση	68
6	Μελέτες περιπτώσεων και ανάλυση δευτερογενών δεδομένων.....	70
6.1	Ανασκόπηση δευτερογενών δεδομένων από υπάρχουσες δοκιμές και μελέτες....	70
6.2	Ανάλυση του αντίκτυπου και της αποτελεσματικότητας των φορητών συσκευών από δημοσιευμένες πηγές.....	72
6.3	Διδάγματα και συνέπειες για το σχεδιασμό και τη χρήση	73
7	Συμπεράσματα και συστάσεις	76

7.1	Σύνοψη των ευρημάτων και η σημασία τους.....	76
7.2	Συστάσεις για μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις	77
7.3	Τελικές σκέψεις για το ρόλο των φορητών ρομποτικών συσκευών στην υποβοήθηση της κινητικότητας των ηλικιωμένων	79
	Βιβλιογραφία.....	81

1 Εισαγωγή

1.1 Επισκόπηση των προβλημάτων κινητικότητας στους ηλικιωμένους

Λόγω των δημογραφικών αλλαγών στον δυτικό κόσμο, η υγιής γήρανση καθίσταται σημαντικό ζήτημα τόσο σε ατομικό όσο και σε πληθυσμιακό επίπεδο. Μεταξύ του 2015 και του 2050, το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού άνω των 60 ετών θα αυξηθεί από 12 σε 22% (WHO, 2015). Ο ΠΟΥ ορίζει την υγιή γήρανση "ως τη διαδικασία ανάπτυξης και διατήρησης της λειτουργικής ικανότητας που επιτρέπει την ευημερία στην τρίτη ηλικία" (WHO, 2015). Ένα σημαντικό συστατικό της υγιούς γήρανσης είναι η κινητικότητα. Οι αυτοαναφερόμενοι περιορισμοί κινητικότητας είναι συχνοί μεταξύ των ηλικιωμένων ατόμων, αλλά ο επιπολασμός αυτός ποικίλλει λόγω διαφορετικών εννοιών και μοντέλων. Παρόλα αυτά, οι περιορισμοί της κινητικότητας είναι όλο και πιο συνηθισμένοι στους ηλικιωμένους και επηρεάζουν περίπου το 35% των ατόμων ηλικίας 70 ετών και την πλειονότητα των ατόμων άνω των 85 ετών (Cummings et al., 2014- Musich et al., 2018).

Οι περιορισμοί κινητικότητας έχουν συσχετιστεί με αυξημένο κίνδυνο πτώσης, αναπηρίας, νοσηλείας και θνησιμότητας, καθώς και με μειωμένη ποιότητα ζωής και κακή ψυχοκοινωνική υγεία δίπλα στη φθίνουσα λειτουργία (Rosso et al., 2013b). Οι Hardy και συν. (2011) κατέδειξαν πρόσθετο κόστος υγειονομικής περίθαλψης σε ηλικιωμένους με περιορισμούς κινητικότητας. Στα ηλικιωμένα άτομα με κινητικούς περιορισμούς, σημειώθηκαν πρόσθετες δαπάνες υγειονομικής περίθαλψης ύψους 2773 δολαρίων (95% CI 1443-4102 δολάρια), πρόσθετες δαπάνες εκτός τσέπης ύψους 274 δολαρίων (95% CI 30-518 δολάρια) και πρόσθετες νοσηλείες 14 (95% CI 8-20) ανά 100 δικαιούχους (Hardy et al., 2011). Οι αριθμοί αυτοί καταδεικνύουν την ανάγκη κατανόησης του μηχανισμού και των παραγόντων κινδύνου για τους περιορισμούς κινητικότητας.

Είναι κοινώς αποδεκτό ότι το χαμηλό επίπεδο σωματικής δραστηριότητας έχει αρνητικό αντίκτυπο στην υγεία και ευθύνεται για πολλές χρόνιες ασθένειες (Booth et al., 2017). Το χαμηλό επίπεδο δραστηριότητας έχει συνδεθεί με τη σαρκοπενία (Marzetti et al., 2017) και με τους περιορισμούς κινητικότητας (Brown and Flood, 2013). Όσον αφορά το γεγονός ότι οι περισσότεροι άνθρωποι στον δυτικό κόσμο άνω των 65 ετών δεν πληρούν το συνιστώμενο επίπεδο σωματικής δραστηριότητας για υγιή γήρανση (Hallal et al., 2012), ο τομέας αυτός φαίνεται υποχρεωτικό να συμπεριληφθεί στην πρόληψη των περιορισμών κινητικότητας. Η μείωση της καθιστικής συμπεριφοράς ή της αδράνειας με τη διατήρηση της κινητικότητας των ηλικιωμένων αποτελεί, όσον αφορά την ανεξαρτησία, τη θνησιμότητα και την υγεία των

ηλικιωμένων, προτεραιότητα τόσο σε ατομικό όσο και σε πληθυσμιακό επίπεδο. Το 2009 ο ΠΟΥ δήλωσε ότι η σωματική αδράνεια αυξάνει τον κίνδυνο για παγκόσμια θνησιμότητα κατά 6% και αποτελεί έναν από τους τέσσερις κύριους παράγοντες κινδύνου (WHO, 2018). Ο Ferrucci και άλλοι έχουν μάλιστα υποστηρίξει ότι η κινητικότητα αποτελεί "σήμα κατατεθέν της γήρανσης" και σημαντικό πυλώνα για την ανεξάρτητη κατάσταση (Ferrucci et al., 2016- Brabrand et al., 2018).

Το θεωρητικό πλαίσιο των Webber και συν. (2010) λαμβάνει υπόψη τους διαφορετικούς και πολύπλοκους προσδιοριστικούς παράγοντες για την κινητικότητα. Ο Webber ορίζει την κινητικότητα "ως την ικανότητα να μετακινείται ο ίδιος (είτε ανεξάρτητα είτε με τη χρήση βοηθητικών συσκευών ή μέσω μεταφοράς) μέσα σε περιβάλλοντα που επεκτείνονται από το σπίτι του ατόμου στη γειτονιά και σε περιοχές πέρα από αυτό" (Webber et al., 2010). Το θεωρητικό πλαίσιο των Webber και συν. (2010) περιλαμβάνει πολλαπλούς καθοριστικούς παράγοντες της κινητικότητας, που καλύπτουν πτυχές της μεταφοράς/περιβάλλοντος, γνωστικές, φυσικές, οικονομικές, ψυχοκοινωνικές, πολιτιστικές και έμφυλες πτυχές. Οι καθοριστικοί παράγοντες που περιλαμβάνονται καταδεικνύουν την ανάγκη για ολιστικές προσεγγίσεις στον τομέα της κινητικότητας των ηλικιωμένων. Καθώς η αλληλεπίδραση αυτών των τομέων είναι δυναμική κατά τη διαδικασία γήρανσης, είναι υποχρεωτικό η βιολογία, η ιατρική και η επιστήμη του πληθυσμού να ξεπεράσουν τα όρια και να συνεργαστούν για την καλύτερη κατανόηση της κινητικότητας κατά τη διάρκεια της ζωής. Επιπλέον, η ενσωμάτωση των ηλικιωμένων ατόμων και των αναγκών τους είναι ζωτικής σημασίας για τη μελλοντική έρευνα της κινητικότητας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η κινητικότητα περιλαμβάνει διάφορους τομείς που κυμαίνονται από φυσικούς, γνωστικούς και νευρομυϊκούς έως ψυχολογικούς τομείς. Σε σωματικό επίπεδο, η βάρδια, η ισορροπία και η δύναμη διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Στον νευρομυϊκό τομέα, οι αλλαγές στις κινητικές μονάδες είναι σημαντικές, και στον γνωστικό τομέα, οι αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία είναι σημαντικές, καθώς και ψυχολογικοί παράγοντες όπως η ψυχολογική ανησυχία που σχετίζεται με την πτώση (FrPC). Μεταβολές της ισορροπίας και της βάρδιας που σχετίζονται με την ηλικία

Ο έλεγχος της στάσης περιλαμβάνει δύο τομείς: (α) στατικές (ισορροπία) και (β) δυναμικές (βάρδια) συνιστώσες. Στη στατική κατάσταση το κέντρο μάζας παραμένει μεταξύ της βάσης στήριξης, ενώ στη βάρδια το κέντρο μάζας καθώς και η βάση στήριξης μετατοπίζονται (Osoba et al., 2019).

Αλλαγές της ισορροπίας με τη γήρανση

Με τη γήρανση, ο έλεγχος της στάσης στη στατική κατάσταση ή η ισορροπία επηρεάζεται

από το οπτικό, το αισθητήριο και το αιθουσαίο σύστημα (Choy et al., 2003). Η μείωση του αισθητηριακού συστήματος συμβαίνει με την αύξηση της ηλικίας και έχει ως αποτέλεσμα την αστάθεια της ισορροπίας και τους περιορισμούς στη βάδιση. Η αισθητηριακή ανατροφοδότηση είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της ισορροπίας υπό το πρίσμα διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών, π.χ. διαφορετικές καταστάσεις φωτισμού, όπως ο ήλιος ή η σκιά, ή καταστάσεις κυκλοφορίας, π.χ. αναγνώριση ή εντοπισμός ήχου (Cavazzana et al., 2018). Η αισθητηριακή ανατροφοδότηση στη στατική ισορροπία είναι απαραίτητη για τη μείωση των κινήσεων ταλάντωσης, π.χ. σε μια κατάσταση όπου τα φώτα του δωματίου σβήνουν ξαφνικά, η όρθια θέση του σώματος χρειάζεται ανατροφοδότηση από άλλα αισθητηριακά συστήματα.

Με τη γήρανση παρατηρείται μια αισθητηριακή μείωση, ιδίως για την όραση και την ακοή (Pinto et al., 2017). Καθώς η μείωση των ικανοτήτων ακοής καθώς και η μειωμένη όραση έχουν αρνητικό αντίκτυπο στην κινητικότητα, επιπλέον έχει αντίκτυπο και στην ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων ατόμων (Pinto et al., 2017; Liljas et al., 2020). Η μελέτη των Pinto και συν. (2017) σε πληθυσμό των ΗΠΑ έδειξε ότι καμία μεμονωμένη αισθητηριακή βλάβη δεν είχε αρνητικές επιπτώσεις στην κινητικότητα -μετρήθηκε με τη δοκιμασία Timed-up and Go (TUG)- αλλά ένας συνολικός αισθητηριακός δείκτης έδειξε σημαντικές επιπτώσεις στην κινητικότητα (Pinto κ.ά., 2017).

Αλλαγές στη βάδιση με τη γήρανση

Σε γενικές γραμμές, οι περιορισμοί της κινητικότητας χαρακτηρίζονται από χρονικές ή χωρικές αλλαγές στη βάδιση σε πολυάριθμες μελέτες. Επιπλέον, η βάδιση έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για τη σωματική λειτουργία, ως προγνωστικός δείκτης για πτώσεις, ακόμη και για τη θνησιμότητα (Herzsens et al., 2018). Η βάδιση είναι μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία που επηρεάζεται από το κεντρικό/περιφερικό νευρικό σύστημα, τις μυοσκελετικές αλλαγές και από εγκεφαλικές αλλαγές, π.χ. από τα βασικά γάγγλια ή τις περιοχές του κινητικού φλοιού (Herzsens et al., 2018- Clark et al., 2019).

Η ταχύτητα βάδισης φαίνεται να μειώνεται σε μικρότερη ηλικία από την κανονική ταχύτητα βάδισης (Callisaya et al., 2017). Η γρήγορη ταχύτητα βάδισης είναι απαραίτητη στην καθημερινή ζωή, π.χ. σε μια έγκαιρη διάβαση πεζών. Μια ταχύτητα βάδισης περίπου >1,2 m/s απαιτείται για την ασφαλή διάβαση κατά τη διάρκεια των πράσινων σηματοδοτών (Eggenberger et al., 2017). Μια ιρλανδική μελέτη TILDA έδειξε ότι το ένα τρίτο του πληθυσμού περπατούσε πιο αργά από το απαιτούμενο 1,2 m/s θέτοντας αυτά τα ηλικιωμένα άτομα σε πίεση κατά τη διέλευση ενός δρόμου. Οι Eggenberger και συν. (2017) παρουσίασαν

παρόμοια ευρήματα στη μελέτη τους δείχνοντας ότι το 30% των ατόμων της ηλικιακής ομάδας 70-79 ετών και το 73% των ατόμων ηλικίας 80 ετών και άνω δεν ήταν σε θέση να φτάσουν το όριο των 1,2 m/s.

Νευρομυϊκές αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία και την κινητικότητα

Σε μυϊκό επίπεδο, με τη γήρανση παρατηρείται αλλαγή στο μέγεθος των μυϊκών ινών (Tieland et al., 2018). Είναι κοινώς κατανοητό ότι οι ίνες τύπου II (ταχείας σύσπασης) επηρεάζονται ιδιαίτερα - είναι υπεύθυνες για την παραγωγή της ισχύος στην απόδοση της ανύψωσης σε καρέκλα (Tieland et al., 2018). Δίπλα στη μείωση του μεγέθους των μυϊκών ινών, έρχονται στο επίκεντρο και άλλες αλλαγές που σχετίζονται με την ηλικία, π.χ. ο ρόλος των κινητικών μονάδων (MU).

Οι κινητικές μονάδες είναι υπεύθυνες για την οργάνωση του νευρικού ελέγχου σε κάθε μυ. Οι MU αποτελούνται από έναν μόνο άλφα κινητικό νευρώνα και τις συνδεδεμένες μυϊκές ίνες (Walker et al., 2018). Ο αριθμός των MUs μπορεί να εκτιμηθεί με τον δείκτη αριθμού κινητικών μονάδων (Drey et al., 2014). Επί του παρόντος, στη νευροκεντρική προσέγγιση η απώλεια των MUs είναι υπεύθυνη για μία παθοφυσιολογική οδό της σαρκοπενίας (Drey et al., 2014). Επιπλέον, αναφέρεται αύξηση του μεγέθους των επιζώντων MUs (δηλαδή αυξημένος αριθμός νευρούμενων μυϊκών ινών ανά άλφα κινητικό νευρώνα) που αντισταθμίζει την απώλεια MUs (Tieland et al., 2018). Η διαδικασία αντισταθμίσματος και αναδιαμόρφωσης μπορεί να οδηγήσει στην εκ νέου νεύρωση με αξονική εκβλάστηση από άλλους κινητικούς νευρώνες (Tieland et al., 2018). Δίπλα σε αυτή τη διαδικασία, αναφέρεται μεγαλύτερη μεταβλητότητα στην εκφόρτιση των MU (Tieland et al., 2018; Walker et al., 2018). Αναφέρεται μια ποικιλία ρυθμών πυροδότησης, σε μύες με μειωμένη MU (έως και 30-40%) κατά τη διάρκεια μέγιστων ισομετρικών συστολών (Tieland et al., 2018).

Ο Clark (2019) απέδειξε ότι η νευρική ενεργοποίηση των σκελετικών μυών αποτελεί βασικό συστατικό για τη μυϊκή αδυναμία. Άλλες διεργασίες ενδιαφέροντος είναι η μειωμένη εκούσια μυϊκή ενεργοποίηση και/ή η αυξημένη ενεργοποίηση του ανταγωνιστή (Clark, 2019).

Συμπερασματικά, οι μορφολογικές και φυσιολογικές αλλαγές στο MU λόγω γήρανσης ακολουθούνται από μεταβολές στις ιδιότητες εκφόρτισης του MU (Clark, 2019).

Μεταβολές που σχετίζονται με την ηλικία στη μυϊκή μάζα, τη δύναμη και την ισχύ

Η μυϊκή απόδοση μειώνεται με την ηλικία (Bell et al., 2016). Η μυϊκή απόδοση συνδέεται με τη μυϊκή μάζα, τη μυϊκή δύναμη και τη μυϊκή ισχύ. Η μυϊκή δύναμη είναι η ικανότητα παραγωγής μέγιστης μυϊκής δύναμης, ενώ η μυϊκή ισχύς αναφέρεται στο γινόμενο της

δύναμης και της ταχύτητας της μυϊκής συστολής (Bell et al., 2016).

Οι δυνατότητες των φορητών ρομποτικών συσκευών ως λύση

Η αύξηση της μακροζωίας του πληθυσμού και οι συνθήκες κοινωνικοοικονομικής ευημερίας έχουν οδηγήσει σε μια αυξανόμενη ανάγκη για βοήθεια προς τους ηλικιωμένους - ευάλωτους και μη - η οποία ικανοποιείται εν μέρει μέσω της ανάπτυξης τεχνολογιών που βασίζονται στην Τεχνητή Νοημοσύνη (AI). Αναπτύσσονται καινοτόμοι τρόποι υποστήριξης των ηλικιωμένων με βάση την κινητή ψηφιακή τεχνολογία, δηλαδή μέσω συσκευών υλικού, όπως υπολογιστές, ταμπλέτες και smartphones, και ειδικού λογισμικού σχεδιασμένου για συγκεκριμένους πληθυσμούς-στόχους. Επίσης, πολύ διαδεδομένες τεχνολογίες είναι αυτές που βασίζονται στην εικονική πραγματικότητα και τα "κοινωνικά ρομπότ", σχεδιασμένα να βοηθούν τους ηλικιωμένους στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Αυτές οι τεχνολογικές καινοτομίες είναι χρήσιμες για την παροχή σωματικής και ψυχολογικής βοήθειας στους ηλικιωμένους, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής τους. Η ετικέτα Ψηφιακή Υγεία και Ψηφιακή Θεραπεία (DTx) υποδεικνύει τα κατάλληλα εργαλεία που επιτρέπουν στους ασθενείς και τα ευάλωτα άτομα να αποκτήσουν τις κατάλληλες στρατηγικές αντιμετώπισης για να επιτύχουν το καλύτερο επίπεδο ποιότητας ζωής, προβλέποντας ενεργό ρόλο τόσο του χρήστη όσο και των φροντιστών που τους βοηθούν. Μεταξύ αυτών των εργαλείων, αναφέρονται:

- εφαρμογές για έξυπνα σπίτια και συστήματα βασισμένα σε αισθητήρες, για ηλικιωμένους που ζουν μόνοι τους,
- ρομπότ για οικιακή φροντίδα και εφαρμογές τηλεϊατρικής, για ηλικιωμένους που ζουν με μέλη της οικογένειας,
- φορητές συσκευές και συσκευές απομακρυσμένης παρακολούθησης, για ηλικιωμένους που ζουν σε κοινότητες κατοικιών,
- υποστηρικτικές τεχνολογίες για ηλικιωμένους με άνοια που ζουν σε οίκους ευγηρίας και εγκαταστάσεις υποστηριζόμενης διαβίωσης.

Σύμφωνα με τους Abdi και συν. (2021), προκύπτει μεγαλύτερη επιστημονική υποστήριξη σε εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, σε συσκευές που ενεργοποιούνται με φωνή και σε φορητές διαγνωστικές συσκευές. Υπάρχει μερική συμφωνία για τις φορητές συσκευές, τα σπίτια με δυνατότητα χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), τα αυτοκινούμενα οχήματα και τα αυτόνομα βοηθητικά ρομπότ- η εικονική πραγματικότητα, η

επαυξημένη πραγματικότητα, η μικτή πραγματικότητα, οι εξωσκελετοί και οι νέοι μηχανισμοί χορήγησης φαρμάκων συγκεντρώνουν λιγότερη συναίνεση. Οι Hamid και συν. (2023) έχουν εντοπίσει διάφορες μακροκατηγορίες (ρομποτική, εικονική πραγματικότητα, έξυπνα υφάσματα και φορητές συσκευές, κεντρικά συστήματα πληροφοριών για την υγεία), οι οποίες προάγουν τις σωματικές-γνωστικές δραστηριότητες, την κοινωνική αλληλεπίδραση, τη συναισθηματική-αισθητική υποστήριξη και τη διαχείριση και παρακολούθηση της υγείας, επηρεάζοντας θετικά έναν υγιεινό τρόπο ζωής.

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί η προσοχή στη χρήση κινητών ψηφιακών τεχνολογιών, οι οποίες προσφέρουν τηλεβοήθεια και υποστήριξη στους ηλικιωμένους στην καθημερινή ζωή και στη διαχείριση της υγείας, χάρη στην προηγμένη τεχνητή νοημοσύνη και τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών (ICT). Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν τη διάγνωση ασθενειών, τη διαχείριση της φαρμακευτικής αγωγής, την παρακολούθηση της σωματικής δραστηριότητας, την ανίχνευση πτώσεων και τις κλήσεις έκτακτης ανάγκης, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην πρόληψη της μοναξιάς (Weck & Afanassieva, 2023). Ένα μεγάλο πολυκεντρικό έργο, χρηματοδοτούμενο από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Horizon2020, ανέπτυξε και δοκίμασε την πλατφόρμα MoveCare (Multipleactors Virtual Empathic Caregiver for the Elder: www.movecare-project.eu) με στόχο την παροχή βοήθειας στους ηλικιωμένους μέσω της ενσωμάτωσης ευφών συσκευών, αισθητήρων οικιακού αυτοματισμού, εικονικής πραγματικότητας και εικονικού φροντιστή, συμπεριλαμβανομένου ενός ρομποτικού. Το σύστημα, χάρη σε έναν αρθρωτό σχεδιασμό, μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να επιτυγχάνεται, για κάθε ηλικιωμένο, η οικολογική παρακολούθηση της αδυναμίας, μέσω μετρήσεων που καταγράφονται κατά τη διάρκεια κοινών δραστηριοτήτων της καθημερινής ζωής, παρέχοντας στους φροντιστές τρέχουσες πληροφορίες για την κατάσταση του ηλικιωμένου (Lunardini et al., 2019).

Τέλος, η μελέτη των Hartmann και συν. (2023) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή των τεχνολογιών AAL, εξοπλισμένων με τεχνητή νοημοσύνη, έχει βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων, αλλά εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις, όπως οι πολιτικές προστασίας της ιδιωτικής ζωής, τα πρωτόκολλα ασφάλειας δεδομένων και ο ψηφιακός γραμματισμός των χρηστών, για να ξεπεραστούν τα σημερινά όρια αυτών των τεχνολογιών.

Εικονική πραγματικότητα

Η εικονική πραγματικότητα (VR) και η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) είναι καινοτόμες τεχνολογίες που κερδίζουν ολοένα και μεγαλύτερη δημοτικότητα στην υγειονομική

περίθαλψη, μεταξύ άλλων και για τους ηλικιωμένους. Μια ανασκόπηση που διεξήχθη από τους Marston και Samuels (2019) υπογράμμισε τη χρησιμότητα της προσωπικής ή εικονικής βοήθειας, της ενσωμάτωσης εικονικών βοηθών και εφαρμογών και των εξεργατικών παιχνιδιών για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ηλικιωμένων. Οι Syed-Abdul και συν. (2019) επιβεβαίωσαν την αποδοχή της εικονικής πραγματικότητας μεταξύ των ηλικιωμένων, δείχνοντας ότι γίνεται αντιληπτή ως χρήσιμη, εύκολη στη χρήση και διασκεδαστική. Η αντίληψη της χρησιμότητας, της ευχαρίστησης και της ευκολίας χρήσης επηρεάζει την πρόθεση χρήσης VR. Προκειμένου να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ανάγκη για βοήθεια των ηλικιωμένων που στερούνται οικογενειακής υποστήριξης, διερευνώνται νέες λύσεις. Ένα παράδειγμα είναι το Assistive VR Gym, ένα πειραματικό έργο (Erickson et al., 2020) που χρησιμοποιεί ένα εικονικό γυμναστήριο για να επιτρέπει στους ανθρώπους να αλληλεπιδρούν με εικονικά ρομπότ. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις συμβάλλουν στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ρομπότ και γεφυρώνουν το χάσμα μεταξύ φυσικών προσομοιώσεων και δραστηριοτήτων του πραγματικού κόσμου.

Οι Ghorbani και συν. (2022) αναφέρουν προκαταρκτικά αποτελέσματα σχετικά με ένα ευφυές βοηθητικό σύστημα που ενσωματώνει επαυξημένη πραγματικότητα και σοβαρά παιχνίδια για προσαρμοστική λήψη αποφάσεων. Οι απαντήσεις που δόθηκαν στην ημιαυτόματη λειτουργία ήταν καλύτερες σε σύγκριση με την πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία.

Μια ανασκόπηση αφιερωμένη στην Εικονική Πραγματικότητα που χρησιμοποιείται ειδικά για την υποβοήθηση ηλικιωμένων ατόμων με γνωστικές διαταραχές παρουσιάστηκε από τους Costanzo και συν. (2023). Η Εικονική Πραγματικότητα προτείνεται επίσης ως ένα πολύτιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση της κοινωνικής απομόνωσης, προσφέροντας στους ηλικιωμένους ελκυστικές κοινωνικές εμπειρίες και προωθώντας την κοινωνικοποίηση. Οι εμπειρίες εικονικής ποδηλασίας, όπως στη μελέτη των De'Sperati και συν. (2023), έτυχαν πολύ καλής υποδοχής από τους ηλικιωμένους συμμετέχοντες, γεγονός που υποδηλώνει ότι η εικονική πραγματικότητα μπορεί να αποτελέσει μια θετική και ελκυστική εμπειρία ακόμη και για τον αποκαλούμενο "γηραιότερο" πληθυσμό (80 ετών και άνω)- επιπλέον, ο υψηλός συνολικός δείκτης εμπειρίας χρήστη που επιτεύχθηκε και τα ελάχιστα επίπεδα κυβερνοασθένειας επιβεβαιώνουν την υψηλή αποδοχή. Η εμπυθισμένη εικονική πραγματικότητα μπορεί επίσης να βοηθήσει τους ηλικιωμένους να διαχειριστούν το άγχος.

Οι Rmadí και συν. (2023) καταδεικνύουν μείωση του άγχους στην πλειονότητα των συμμετεχόντων, χωρίς να προκαλούν σημαντικές παρενέργειες, εκτός από ορισμένα ήπια συμπτώματα της ασθένειας στον κυβερνοχώρο- έτσι, η εμπυθιστική εικονική πραγματικότητα είναι καλά ανεκτή από τους ηλικιωμένους κατοίκους σε οίκους ευγηρίας. Ορισμένα οφέλη της εικονικής πραγματικότητας είναι η προώθηση της σωματικής δραστηριότητας και η συνακόλουθη αύξηση της ψυχοφυσικής ευεξίας- μέσω καθηλωτικών και ελκυστικών εμπειριών, προωθεί τη σωματική δραστηριότητα στους ηλικιωμένους, εξουδετερώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις της καθιστικής ζωής και βελτιώνοντας τη γενική τους ευεξία. Οι Gabbi και συν. (2024) επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα της χρήσης της μικτής πραγματικότητας (MR), όπως το Microsoft HoloLens, υπογραμμίζοντας την εκτίμηση των ηλικιωμένων για τα σωματικά, γνωστικά και ψυχολογικά οφέλη αυτών των τεχνολογιών. Η εμπυθισμένη εικονική πραγματικότητα αποδεικνύεται μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για τη βελτίωση των γνωστικών λειτουργιών, ιδίως της μνήμης, και της ψυχολογικής ευεξίας των ηλικιωμένων. Για παράδειγμα, η θεραπεία ανάμνησης με χρήση VR διεγείρει τη μνήμη και ενισχύει τις νευρικές συνδέσεις στον εγκέφαλο, προάγοντας την παγίωση των αναμνήσεων και βελτιώνοντας τις γνωστικές ικανότητες, παρουσιάζοντας ανώτερη αποτελεσματικότητα σε σύγκριση με την παραδοσιακή θεραπεία (Abd El Fatah et al., 2024).

Η επαυξημένη πραγματικότητα διευκολύνει τη χρήση τεχνολογικών συσκευών από τους ηλικιωμένους, προωθώντας την ψηφιακή τους ένταξη και, κατά συνέπεια, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής τους. Οι Jin και συν. (2024) υπογραμμίζουν τις πολλά υποσχόμενες δυνατότητες της AR από αυτή την άποψη, αλλά επισημαίνουν την ανάγκη για προσεκτικό και περιεκτικό σχεδιασμό εφαρμογών- αναλυτικά, πρέπει να αντιμετωπιστούν παράγοντες που σχετίζονται με την ευκολία χρήσης, την προσβασιμότητα και την ψυχολογική άνεση, ώστε να εξασφαλιστεί η επιτυχία της AR στη φροντίδα των ηλικιωμένων. Η απόλαυση της εικονικής πραγματικότητας και της AR μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η εξοικείωση με την τεχνολογία και οι ψυχοκινητικές ικανότητες των ηλικιωμένων.

Η συνεργασία μεταξύ ερευνητών, προγραμματιστών και επαγγελματιών υγείας είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό και την εφαρμογή αποτελεσματικών, ηθικά ορθών και προσβάσιμων λύσεων VR και AR για όλους τους ηλικιωμένους ενήλικες.

Κοινωνικά ρομπότ για την υποστήριξη των ηλικιωμένων

Η κοινωνικά υποβοηθητική ρομποτική (SAR) προσφέρει υποστήριξη στους ηλικιωμένους τόσο στο σπίτι όσο και σε εγκαταστάσεις φροντίδας, ανταποκρινόμενη στην αυξανόμενη

ανάγκη για βοήθεια σε μια κοινωνία όπου λίγες οικογένειες μπορούν να φροντίσουν τους ηλικιωμένους τους. Οι ηλικιωμένοι θέλουν να διατηρούν την ανεξαρτησία τους και να ζουν στα σπίτια τους, ακόμη και όταν χρειάζονται βοήθεια. Οι τεχνολογικές καινοτομίες που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, όπως το SAR, αποτελούν μια χρήσιμη λύση, καθώς βοηθούν τους ηλικιωμένους να εκτελούν καθημερινές δραστηριότητες, όπως να σηκώνονται από το κρεβάτι, να κάνουν μπάνιο και να παίρνουν φάρμακα, επιτρέποντάς τους να ζουν ανεξάρτητα. Επιπλέον, προωθούν την τακτική άσκηση, βελτιώνοντας τη φυσική κατάσταση, τον ύπνο, το ανοσοποιητικό σύστημα και μειώνοντας τον κίνδυνο ασθενειών όπως ο διαβήτης και η άνοια. Αρκετά παραδείγματα υπάρχουν εδώ και καιρό σε συγκεκριμένες εφαρμογές της ρομποτικής: Το NICA (Natural Interaction with a Cares Agent: De Carolis et al., 2009), και το Multi-role Shadow Robotic System for Independent Living (Pigini et al., 2012), ήταν από τα πρώτα έργα για την ανάπτυξη ενός ρομποτικού συστήματος που θα εξασφάλιζε την αυτονομία των ηλικιωμένων στο σπίτι. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά: τα ρομποτικά συστήματα αποδείχθηκαν ικανά να αξιολογούν το συγκεκριμένο περιβάλλον του ηλικιωμένου και να προσαρμόζονται σε αυτό, να σχετίζονται με τον ηλικιωμένο, να αναγνωρίζουν τις συναισθηματικές συνιστώσες του και να ανταποκρίνονται κατάλληλα σε αυτές, να θυμούνται τις προθεσμίες και τις εργασίες που πρέπει να εκτελέσουν, να προτείνουν γνωστικές ασκήσεις που διεγείρουν την προσοχή και τη μνήμη. Τα ρομπότ "υπηρεσιών" ή "φροντιστών", όπως το ROBOCARE (Cesta et al., 2007), υποστηρίζουν τις καθημερινές δραστηριότητες των ηλικιωμένων και επιτρέπουν ευκαιρίες ανεξάρτητης διαβίωσης, μαζί με ρομπότ που μοιάζουν με ζώα συντροφιάς και συμβάλλουν στη βελτίωση της ψυχολογικής ευεξίας, τόσο στο σπίτι όσο και σε κατοικίες για ηλικιωμένους. Εκτελούν παρόμοιες λειτουργίες με τη θεραπεία κατοικίδιων ζώων, αλλά σε καλύτερες συνθήκες υγιεινής και ασφάλειας. Οι διεπαφές χρήστη είναι πολυτροπικές και χρησιμοποιούν τεχνολογίες όπως ταμπλέτες, smartphones, διαδίκτυο-ορισμένες επιτρέπουν επίσης παρεμβάσεις τηλεπαρουσίας (Cesta et al., 2016).

Οι Lotfi και συν. (2018) διεξήγαγαν μια πειραματική μελέτη που χρησιμοποίησε ένα ρομποτικό σύστημα βοήθειας για την εμπλοκή, την παρακίνηση, την καθοδήγηση και την αξιολόγηση ηλικιωμένων ατόμων σε κινητικές δραστηριότητες μέσω μιας εφαρμογής σε ένα iPad συνδεδεμένο με το διπλό ρομπότ. Τα αποτελέσματα έδειξαν μια γενική ικανοποίηση μεταξύ των συμμετεχόντων (με μεγαλύτερη συμμετοχή των γυναικών από ό,τι των ανδρών) και μια γενική αύξηση των κινήτρων για σωματική άσκηση, αρκετή για να το συστήσουν σε άλλους. Η προχωρημένη ηλικία οδηγεί επίσης σε αυξημένη ανάγκη για συντροφιά, ειδικά για

τα άτομα που είναι ευάλωτα στη μοναξιά, σε καταστάσεις νοσοκομείου ή γηροκομείου, όπως συνέβη κατά τη διάρκεια της πανδημίας Covid-19. Τα ρομπότ τηλεπαρουσίας (Giraff, TRIC, TELEROBOT και Flo), που προτείνονται από τους Reis και συν (2018), μπορούν να ικανοποιήσουν αυτές τις ανάγκες. Αυτά τα ρομπότ χρησιμοποιούνται κυρίως σε τρεις τομείς: τηλεϊατρική, εξ αποστάσεως αλληλεπίδραση με την οικογένεια και τους φίλους και τηλεματική παρακολούθηση της υγείας. Αν και έχει αποδειχθεί η χρησιμότητά τους τόσο για τους ηλικιωμένους όσο και για τους χειριστές, παραμένουν σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η περιορισμένη αυτονομία και ο σεβασμός της ιδιωτικής ζωής, που αναφέρουν οι χρήστες.

Οι Huisman και Kort (2019) επαλήθευσαν, μέσω μιας διαχρονικής μελέτης, την αποτελεσματικότητα του ρομπότ Zora στην καθημερινή βοήθεια και τη θεραπεία αποκατάστασης, και οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης φαίνεται να είναι διατεθειμένες να το υιοθετήσουν ως πολυλειτουργικό βοηθό. Επιπλέον, το Zora έχει γίνει καλά αποδεκτό από τους ηλικιωμένους, ιδίως σε ψυχογηριατρικά τμήματα, καθώς και από άτομα με αναπηρίες και άτομα που χρειάζονται υποστήριξη σε γνωστικές, κινητικές και κοινωνικές δραστηριότητες. Οι McGinn και συν. (2019) συνέβαλαν στην ανάπτυξη ρομποτικών τεχνολογιών για τη βοήθεια των ηλικιωμένων σε διάφορες καταστάσεις, σχεδιάζοντας τον Stevie, ένα ρομπότ που, μαθαίνοντας απευθείας από τους χειριστές στο πεδίο, διευκολύνει το έργο τους και βοηθά τους ηλικιωμένους σε γηροκομεία, νοσοκομεία και στο σπίτι. Προσφέροντας εκτεταμένη χρήση σε οίκους ευγηρίας έναν εικονικό θεραπευτή χαμηλού κόστους που επεμβαίνει σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και διευκολύνει την επικοινωνία με τα μέλη της οικογένειας, βελτιώνεται η ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων και επιβραδύνεται η ψυχοσωματική τους παρακμή. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να βελτιωθεί η συναισθηματική πτυχή της αλληλεπίδρασης, να εφαρμοστούν ακριβέστερες γλώσσες και απαντήσεις και να αναγνωριστούν άμεσα οι μη φυσιολογικές σωματικές αντιδράσεις για να ενεργήσουν κατάλληλα. Η ρομποτική πλατφόρμα TIAGO Iron του έργου ENRICHME χρησιμοποιείται επίσης για την παρακολούθηση της υγείας και την παροχή κοινωνικής υποστήριξης, με την ένδειξη ότι η χρήση της "μαλακής ρομποτικής" θα βελτιώσει τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-ρομπότ και θα τις καταστήσει πιο ενσυναίσθητες και προσαρμόσιμες (Cos,ar et al., 2020).

Το ρομπότ HomeMate (Lee & Naguib, 2020) στοχεύει στην παροχή βοήθειας στους ηλικιωμένους, βασίζοντας τις παρεμβάσεις στην κοινωνικότητα και την αξιοπιστία. Οι συνεντεύξεις και οι ομάδες εστίασης με ηλικιωμένους επαλήθευσαν την εγκυρότητα των

σεναρίων, την παρουσία φιλικών avatars και την ευκολία εκμάθησης χειρονομιών για τη διευκόλυνση της αλληλεπίδρασης- ωστόσο, έχει παρατηρηθεί μεγαλύτερη ασφάλεια στην παράδοση φαρμάκων όταν ο χειρισμός γίνεται από ανθρώπινο χειριστή. Υπάρχει επίσης πολιτισμική επιρροή, με προτιμήσεις για ήσυχη, μη επεμβατική ρομποτική συμπεριφορά. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα ρομπότ φροντίδας και τα συστήματα τεχνολογικής βοήθειας, όπως το ρομπότ Tessa, μπορούν να αποτελέσουν αναπόσπαστο μέρος της ζωής των ηλικιωμένων, αποτελώντας μέρος της "τεχνολογίας ευημερίας". Τα ρομπότ μπορούν να μειώσουν την απομόνωση των ηλικιωμένων με το να γίνουν βοηθοί στις καθημερινές τους δραστηριότητες. Οι Carros και συν. (2020) διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα της χρήσης του μίνι ρομπότ Pepper σε ένα γηροκομείο, σημειώνοντας την έγκυρη υποστήριξή του τόσο για γνωστική όσο και για κινητική βοήθεια- ωστόσο, τα SAR δεν μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τους ανθρώπους και απαιτούν ανθρώπινη υποστήριξη για τη διευκόλυνση της αλληλεπίδρασης. Η χρησιμότητα του μίνι-ρομπότ επιβεβαιώθηκε από τους Salichs και συν. (2020), τονίζοντας τη φιλικότητα, την ασφάλεια και την ευφυΐα που αντιλαμβάνονται οι χρήστες.

Οι Shen και συν. (2022) παρουσίασαν την πλατφόρμα Q-HARP χρήσιμη για την υποβοήθηση της σωματικής κινητικότητας των ηλικιωμένων, χάρη στην υποστήριξη ενός τετράποδου ρομπότ που προσφέρει σταθερή υποστήριξη κατά τη διάρκεια της βάδισης. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν την αποτελεσματικότητα του Q-HARP στις βασικές επιδόσεις και στην προσομοίωση ανθρώπινων κινήσεων, όπως η υπέρβαση εμποδίων και δύσβατου εδάφους. Οι Gasteiger και συν. (2022) διεξήγαγαν μια ποιοτική μελέτη σχετικά με την αποτελεσματικότητα του ρομπότ Bomy στη φροντίδα ηλικιωμένων σε οίκους ευγηρίας. Η πλειονότητα των συμμετεχόντων αποδέχθηκε το ρομπότ, το οποίο θεωρήθηκε ως σύντροφος ή φίλος. Ωστόσο, αναφέρθηκαν τεχνικά προβλήματα και περιορισμοί στο είδος των παιχνιδιών που προσφέρονταν. Η χρήση του SAR σε οικιακά περιβάλλοντα ανταποκρίνεται στην προτίμηση των ηλικιωμένων να ζουν στα σπίτια τους, όπου βρίσκουν άνεση και οικειότητα. Το σύστημα GUARDIAN, που παρουσιάστηκε από τους Margaritini και συν. (2022), χρησιμοποιεί το ρομπότ Misty II και δύο συνδεδεμένες εφαρμογές για την παροχή οικιακής φροντίδας στους ηλικιωμένους, με σκοπό τη βελτίωση της αυτονομίας, της υγείας και της ποιότητας ζωής, επιτρέποντάς τους να παραμείνουν στα σπίτια τους για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Μια σημαντική πτυχή της SAR στους ηλικιωμένους είναι η συναισθηματική συνιστώσα που το ρομπότ μπορεί να εκδηλώσει και να αποκωδικοποιήσει στον χρήστη.

Οι Abdollahi και συν. (2022) διερεύνησαν σε βάθος αυτή την πτυχή συγκρίνοντας τη χρήση δύο εκδόσεων του ρομπότ Ryan: "ενσυναισθητικό" (δηλ. ικανό να ανιχνεύει τις συναισθηματικές καταστάσεις του χρήστη και να ανταποκρίνεται με συναισθηματικό διάλογο) και "μη ενσυναισθητικό" (χωρίς έκφραση προσώπου και χρησιμοποιώντας μόνο διαλόγους σεναρίου). Και οι δύο εκδοχές είχαν συνολικά θετικά αποτελέσματα, αλλά οι ηλικιωμένοι αντιλήφθηκαν τον "ενσυναισθητικό" Ryan ως πιο ελκυστικό και συμπαθητικό. Οι Halim και συν. (2022) εξέτασαν τις έρευνες που διεξήχθησαν μεταξύ 2000 και 2021 σχετικά με τη χρησιμότητα του SAR για τους ηλικιωμένους, εντοπίζοντας τρεις βασικούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν για να εξασφαλίσουν την αποτελεσματικότητά του: λειτουργικότητα, χρησιμότητα και εμπειρία χρήστη. Ένα κρίσιμο στοιχείο είναι η βελτιστοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και του βοηθητικού ρομπότ: ο χρήστης θα πρέπει να μπορεί να επικοινωνεί με σαφήνεια και το ρομπότ θα πρέπει να ερμηνεύει επαρκώς ώστε να ανταποκρίνεται κατάλληλα. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του χρήστη (π.χ. μυωπία) πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τη στιγμή του σχεδιασμού του ρομπότ, καθώς και η έλλειψη τεχνολογικής εμπειρίας μεταξύ των ηλικιωμένων. Η ανασκόπηση επιβεβαιώνει ότι οι ηλικιωμένοι προτιμούν μικρά SAR με φιλικό σχεδιασμό που μοιάζει με ζώο, ενώ αντιδρούν λιγότερο θετικά σε μεγαλύτερα ανθρωπόμορφα SAR.

Ο Savage (2022), συνοψίζοντας τις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε διάφορους τομείς εφαρμογής, μιλά για τη "χαμηλή άνοδο" της βοηθητικής ρομποτικής και την ανάγκη για περαιτέρω μελέτες για την εφαρμογή της χρήσης ρουτίνας τόσο στο σπίτι όσο και σε χώρους φροντίδας. Μια άλλη ανασκόπηση που διεξήχθη από τους Sawik και συν (2023) αξιολόγησε το μοντέλο M-CORAEUS για την αποτελεσματική χρήση των ρομπότ από τους ηλικιωμένους, μειώνοντας το άγχος των φροντιστών. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις ομάδες εστίασης επέτρεψαν την ανάδειξη ορισμένων κύριων κατηγοριών που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα (χαρακτηριστικά του χρήστη, του ρομπότ και των λειτουργιών του), αλλά και προβληματισμούς σχετικά με την αποδοχή των ρομπότ. Η βοηθητική ρομποτική έχει βρει ευρεία χρήση σε αυτόν τον τομέα της μετάβασης μεταξύ φυσιολογικής και παθολογικής γήρανσης που χαρακτηρίζεται από τα συμπτώματα της "Ήπιας Γνωστικής Διαταραχής": μια πρόσφατη ανασκόπηση (Figliano et al., 2023) έκανε απολογισμό των θετικών αποτελεσμάτων ακόμη και σε αυτόν τον τομέα, υπογραμμίζοντας τη σημασία της παρέμβασης για την ενίσχυση των κοινωνικο-γνωστικών δεξιοτήτων για την πρόληψη της άνοιας.

1.2 Σκοπός και πεδίο εφαρμογής της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει τις δυνατότητες των φορητών ρομποτικών συσκευών, όπως οι εξωσκελετοί, να βελτιώσουν την κινητικότητα και την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων ατόμων. Πρωταρχικός στόχος είναι η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης και ανάλυσης των υφιστάμενων τεχνολογιών στον τομέα αυτό. Θα εμβαθύνει στη μηχανική, στο σχεδιασμό και στην αποτελεσματικότητα αυτών των συσκευών, εξετάζοντας πώς μπορούν να βοηθήσουν σε θέματα που σχετίζονται με την κινητικότητα και τα οποία συνήθως αντιμετωπίζουν οι ηλικιωμένοι, όπως η σταθερότητα, το περπάτημα και το ανέβασμα σκαλοπατιών.

Η παρούσα διατριβή δεν θα περιλαμβάνει την πραγματική εφαρμογή ή ανάπτυξη οποιασδήποτε φορητής συσκευής. Ούτε θα περιλαμβάνει την πρόσληψη συμμετεχόντων για δοκιμές ή δοκιμές. Αντ' αυτού, θα επικεντρωθεί σε μια θεωρητική και αναλυτική προσέγγιση, με στόχο να παράσχει μια σταθερή βάση για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα της φορητής ρομποτικής για την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων. Τα αναμενόμενα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας περιλαμβάνουν:

- Λεπτομερής επισκόπηση των σημερινών φορητών ρομποτικών τεχνολογιών: εντοπισμός των πιο υποσχόμενων λύσεων και την κατανόηση των μηχανισμών δράσης, των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους.
- Προσδιορισμός των προκλήσεων και των ευκαιριών: σκιαγράφηση των τεχνικών, ηθικών και πρακτικών προκλήσεων κατά την εφαρμογή αυτών των συσκευών για τη φροντίδα ηλικιωμένων, καθώς και των πιθανών ευκαιριών για καινοτομία και βελτίωση.
- Συστάσεις για μελλοντική έρευνα και ανάπτυξη: Με βάση τα ευρήματα, η διπλωματική εργασία θα προτείνει τομείς στους οποίους απαιτείται περαιτέρω έρευνα, πιθανές βελτιώσεις της τρέχουσας τεχνολογίας, καθώς και εκτιμήσεις για το σχεδιασμό και την εφαρμογή φορητών συσκευών στη φροντίδα ηλικιωμένων.

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Ιστορική εξέλιξη των φορητών ρομποτικών συσκευών

Τα τελευταία 45 χρόνια της προηγμένης μηχανικής μελέτης έχουν αφιερωθεί στην επίλυση των ειδικών προβλημάτων της εφαρμοσμένης μηχανολογικής τεχνολογίας με την εξεύρεση λύσεων. Τα θέματα των εξετάσεων στη μηχανολογική τεχνολογία έχουν επηρεαστεί από την αλλαγή των τομέων εφαρμογής και την αυξανόμενη πολυπλοκότητα. Οι ανθρώπινες ανάγκες έχουν πνίξει αυτή την πρόοδο. Ως αποτέλεσμα της σύγχρονης αναταραχής, το εργοστάσιο επεξεργασίας χρησιμοποίησε τη σύγχρονη ρομποτική στη δεκαετία του 1960 για να απαλλάξει τον ανθρώπινο διαχειριστή από επικίνδυνες και επιζήμιες εργασίες. Τώρα βλέπουμε μια αύξηση της ανάγκης για ρομπότ πεδίου και διοικητικά ρομπότ για την κάλυψη νέων αναγκών της αγοράς και των ανθρώπινων κοινωνικών αναγκών ως αποτέλεσμα του αυξανόμενου περιβάλλοντος στο οποίο ζούμε.



Εικόνα 1: Εξέλιξη ρομποτικών συσκευών. Πηγή: Robotics24

Από το 1970 έως το 1980

Σε μια ερευνητική εργασία, οι Kirk και συν. (1970) πρότειναν έναν αλγόριθμο διπλής λειτουργίας για την αποστολή ενός ευφυούς κινητού οχήματος σε άλλους πλανήτες για να εξερευνήσει αβέβαιο έδαφος. Χρησιμοποιήθηκαν συναρτήσεις Gauss για την πυκνότητα πιθανότητας για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής για το όχημα σε αβέβαιο έδαφος. Οι Cahm και συν. (1975) ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο για την επίλυση προβλημάτων στην πλοήγηση ρομπότ και την αποφυγή εμποδίων με τη βοήθεια πληροφοριών για το εύρος που ορίζεται στο περιβάλλον. Αυτό το σύστημα αλγορίθμων απαιτεί πολύ μικρή ποσότητα μνήμης από τους μικροϋπολογιστές. Οι McGhee και συν. (1979) παρουσίασαν μια επέκταση του συντονισμού των άκρων για κινητά ρομπότ στην περίπτωση εδάφους που αποτελεί περιοχές ακατάλληλες για τη μεταφορά βάρους. Η μελέτη προσομοίωσης σε υπολογιστή

διατυπώνει έναν ευρετικό αλγόριθμο για την αποφυγή των περιοχών που δεν είναι κατάλληλες για τη μεταφορά βάρους.

Από το 1981 έως το 1990

Ο Blidberg (1981) μελέτησε την επίδραση του τύπου του μικροεπεξεργαστή στο ευφύες κινητό ρομπότ και εξέτασε το αυξανόμενο μέγεθος της μνήμης και την κατανεμημένη επεξεργασία και τη συνακόλουθη επίδραση στην επικοινωνία, τις δυνατότητες αποστολής, την πλοήγηση και τον έλεγχο. Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή παρουσιάστηκε στους Meystel και συν. (1984) με βάση τη σχέση βάσης δεδομένων που παρέχεται κατά την έναρξη της διαδικασίας σχεδιασμού. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται σε κινητά ρομπότ και χειριστές πολλαπλών συνδέσμων. Οι Keirsev και συν. (1985) παρουσίασαν εργασίες για την ανάπτυξη τεχνολογίας ευφυούς ελέγχου οχημάτων. Η προτεινόμενη εργασία επικεντρώθηκε στην εφαρμογή της τεχνικής τεχνητής νοημοσύνης σε ένα αυτόνομο σύστημα. Ο κύριος στόχος αυτής της τεχνικής ήταν η ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης ικανότητας που μπορεί να αποτελέσει εμπειρογνωμοσύνη σε μια εφαρμογή του Υπουργείου Άμυνας.

Οι Fujimura και συν. (1989) παρουσίασαν μια μέθοδο για το σχεδιασμό διαδρομής στην περίπτωση κινούμενων εμποδίων. Εδώ, ελήφθη ένα σύνολο πολυγωνικών εμποδίων και επικεντρώθηκε στη δημιουργία μιας διαδρομής για την πλοήγηση αυτόνομων ρομπότ στο επίπεδο των δύο διαστάσεων. Ο χρόνος είναι ο κύριος παράγοντας σε αυτή τη μεθοδολογία. Οι Luo και συν. (1989) παρουσίασαν μια μεθοδολογία για την ενσωμάτωση της πολυαισθητηριακής τεχνολογίας σε ένα ευφύες σύστημα για την ενίσχυση των συνολικών δυνατοτήτων του συστήματος. Έγινε μια έρευνα σχετικά με αυτή την πτυχή, έτσι ώστε η ενσωμάτωση των πολυαισθητηριακών συστημάτων και της σύντηξης με το ευφύες σύστημα να έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια.

Από το 1991 έως το 2000

Οι Shiller και συν. (1991) παρουσίασαν μια μέθοδο για το σχεδιασμό της κίνησης αυτόνομων ρομπότ που κινούνται σε κανονικό έδαφος. Η προτεινόμενη μεθοδολογία έλαβε τις ταχύτητες του κινητού ρομπότ και τη γεωμετρική διαδρομή που ελαχιστοποιεί το χρόνο κίνησης λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία του εδάφους, την κινητικότητα της επιφάνειας, τα εμπόδια και τη δυναμική του οχήματος. Η αποφυγή των δυναμικών εμποδίων από το ευφύες κινητό ρομπότ πραγματοποιήθηκε με το κρυφό μοντέλο Markov, το οποίο προτάθηκε από τον Zhu (1991). Αναπτύχθηκε ο αλγόριθμος με βάση το κρυφό μοντέλο Markov για τον

στοχαστικό έλεγχο της κίνησης. Επιπλέον, συζητήθηκαν τα χαρακτηριστικά που διαφοροποιούσαν τον έλεγχο κίνησης και τις απαιτήσεις οπτικού υπολογισμού σε δυναμικά πεδία από εκείνα σε στατικά πεδία. Οι Gruver και συν. (1994) παρείχαν μια ολοκληρωμένη μελέτη των πρόσφατων εξελίξεων της αυτόνομης ρομποτικής στα συστήματα παραγωγής, στις υπηρεσίες και στα βοηθήματα ρομποτικής για άτομα με ειδικές ανάγκες. Οι αναφορές υπογράμμισαν τις προόδους στον έλεγχο των ρομπότ, την ενσωμάτωση αισθητήρων, τις μηχανές βάρδιας, τα μηχανικά χέρια, τις μηχανοκίνητες προθέσεις και την αυτοματοποίηση της κατασκευής. Οι Guldner και συν. (1995) εισήγαγαν μια στρατηγική ελέγχου σε ολισθαίνοντα τρόπο λειτουργίας για την παρακολούθηση της κλίσης του τεχνητού δυναμικού πεδίου. Η μεθοδολογία ελέγχου εφαρμόζεται σε ρομποτικά συστήματα ενός πλήρως ενεργοποιημένου ολονομικού με ελευθερία n-βαθμών. Μια σύντομη μελέτη αυτόνομων ρομπότ εισήγαγε τη μέθοδο τοποθέτησης σημείων ισορροπίας για το σχεδιασμό αρμονικών σχεδιαστών για πεδία δυναμικού σε κυκλική μορφή ζωνών ασφαλείας εμποδίων.

Οι Gasper και συν. (2000) πρότειναν μια μεθοδολογία για την πλοήγηση ενός αυτόνομου ρομπότ με βάση την όραση με τη βοήθεια μιας μόνο πανκατευθυντικής κάμερας σε εσωτερικό περιβάλλον. Το κινητό ρομπότ ελέγχθηκε για να ακολουθήσει μια προκαθορισμένη διαδρομή με μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπίζοντας τα οπτικά ορόσημα στο επίπεδο του εδάφους με τη βοήθεια της θέασης από το μάτι του πουλιού μέσω της κάμερας.

Από το 2001 έως το 2010

Οι Martinez και συν. (2001) συνέκριναν την ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) με τη γραμμική ανάλυση διάκρισης (LDA). Όσον αφορά τις προηγούμενες έρευνες, η αναγνώριση αντικειμένων με αλγόριθμους που βασίζονται στην LDA ήταν ανώτερη από τους αλγόριθμους που βασίζονται στην PCA. Ωστόσο, αυτή η έρευνα εξήγησε ότι αυτή η περίπτωση δεν ισχύει πάντα. Στην περίπτωση ενός μικρού συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, η PCA είναι ανώτερη από την LDA. Οι DeSouza και συν. (2002) μελέτησαν τις εξελίξεις στον τομέα της όρασης για την πλοήγηση κινητών ρομπότ τα τελευταία 20 χρόνια. Η έρευνα περιελάμβανε τόσο την πλοήγηση σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους. Σε αυτό το άρθρο συζητήθηκαν οι περιπτώσεις πλοήγησης με χρήση αναγνώρισης αντικειμένων, οπτικών ροών και τεχνικών εμφάνισης παραδειγμάτων με βάση τα περιβάλλοντα. Οι Burgard και συν. (2005) πρότειναν μια τεχνική για την εξερεύνηση συντονισμένων πολυρομπότ. Η προσέγγιση αυτή αφορά τον συντονισμό πολλαπλών κινητών ρομπότ, ο οποίος αυξάνει ταυτόχρονα το κόστος οριστικοποίησης ενός σημείου-στόχου και τη χρησιμότητά του. Τα

αποτελέσματα του προτεινόμενου αλγορίθμου έδειξαν ότι η προσέγγιση αυτή κατανέμει αποτελεσματικά και γρήγορα τα κινητά ρομπότ στο περιβάλλον και τους επέτρεψε να ολοκληρώσουν γρήγορα την αποστολή τους.

Ο Wood (2008) πρότεινε μια τεχνική για την ανάπτυξη ενός μικρού μεγέθους κινητού ρομπότ μικροαέρα τύπου εντόμου με τη χρήση βιολογικής αρχής εξερεύνησης. Οι προτεινόμενες αρχές παρείχαν μια ιδέα σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας καλύτερης ώθησης για τη διατήρηση της πτήσης για οχήματα μικροκλίμακας. Η προσέγγιση αυτή έδειξε πώς τα νέα παραδείγματα κατασκευής επιτρέπουν τη δημιουργία των αερομηχανικών και μηχανικών υποσυστημάτων οποιασδήποτε μικροκινητής ρομποτικής συσκευής ικανής για τροχιές του φτερού του δίπτερου. Οι Choi και συν. (2009) πρότειναν δύο αποκεντρωμένους αλγορίθμους για την αντιμετώπιση της κατανομής μιας εργασίας για το συντονισμό πολλών αυτόνομων ρομπότ. Οι αλγόριθμοι αυτοί ήταν ο CBBA (αλγόριθμος δέσμης με βάση τη συναίνεση) και ο CBAA (αλγόριθμος δημοπρασίας με βάση τη συναίνεση). Αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποίησαν τη στρατηγική λήψης αποφάσεων με βάση την αγορά ως τον αποκεντρωμένο μηχανισμό επιλογής εργασιών και χρησιμοποίησαν μια τοπική ρουτίνα συναίνεσης με βάση την επικοινωνία ως μηχανισμό επίλυσης συγκρούσεων για να εξασφαλίσουν τις νικητήριες τιμές της προσφοράς. Οι Glaser και συν. (2010) πρότειναν έναν αλγόριθμο σχεδιασμένο να εκτελείται σε ενσωματωμένο περιβάλλον ασφαλείας με πολύ χαμηλή υπολογιστική ισχύ, όπως η μονάδα ελέγχου του κινητήρα, ώστε να μπορεί να υλοποιηθεί σε μελλοντικά εμπορικά οχήματα. Πρόσθετοι δείκτες επιδόσεων, όπως οι κανόνες κυκλοφορίας, η άνεση, ο χρόνος ταξιδιού και η κατανάλωση, μπορούν να βελτιωθούν με τη βελτιστοποίηση των τροχιών μέσω του προτεινόμενου αλγορίθμου.

Από το 2011 έως το 2021

Οι Song και συν. (2011) παρουσίασαν μια μεθοδολογία για την εφεύρεση και τον χαρακτηρισμό ενός ρομπότ για την επιτήρηση της οικιακής ασφάλειας με δυνατότητες αυτόματης επαναφόρτισης και πρόσδεσης. Το σύστημα που παρουσιάστηκε διέθετε έναν σταθμό σύνδεσης και ένα ρομπότ επιτήρησης. Το μέγεθος του ρομπότ επιτήρησης είχε μέγεθος παλάμης και διέθετε τρεις τροχούς με τριγωνικό σχήμα. Το ποσοστό επιτυχίας αυτού του ρομπότ ήταν 90% μετά από 60 διαφορετικές προσπάθειες πρόσδεσης. Οι Stephan και συν. (2012) παρουσίασαν μια έκθεση ανασκόπησης σχετικά με τις συνεισφορές της κοινωνίας των κοινωνικών επιπτώσεων της τεχνολογίας (SSIT) σε αυτόν τον κόσμο από την ίδρυση της κοινωνίας IEEE το 1982. Εκτός από τις έρευνες, μελέτησαν τις κύριες σημαντικές

τεχνολογίες-κλειδιά που έχουν σημαντικές μελλοντικές κοινωνικές επιπτώσεις. Οι τεχνολογίες ασφάλειας και οι στρατιωτικές τεχνολογίες μελετήθηκαν σημαντικά σε αυτή την έρευνα.

Οι Broggi κ.ά. (2013) παρουσίασαν τα μελλοντικά αυτοματοποιημένα οχήματα τα οποία έχουν το όραμα του Εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων (VisLab) και της τεχνητής όρασης, από την επιλογή των αισθητήρων μέχρι την αποκλειστική δοκιμή τους. Οι επιλογές του σχεδιασμού του VisLab συζητήθηκαν με τη βοήθεια του ευφυούς κινητού ρομπότ BRAiVE ως παράδειγμα πρωτοτύπου. Η μεθοδολογία αυτή παρουσίασε επίσης τελικές παρατηρήσεις σχετικά με την προοπτική του VisLab για τα μελλοντικά οχήματα.

Οι Dong και συν. (2015) διερεύνησαν προβλήματα σχεδιασμού και ανάλυσης ελέγχου σχηματισμού για συστήματα σμήνους UAV (μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα) για την επίτευξη χρονοεξαρτώμενων σχηματισμών. Αρχικά, δόθηκαν τα πρωτόκολλα σχηματισμού για συστήματα σμήνους UAV για να αποκτήσουν προκαθορισμένους χρονοεξαρτώμενους σχηματισμούς. Τα θεωρητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την προσέγγιση επαληθεύτηκαν στην πλατφόρμα σχηματισμού τετραπλού ρομπότ. Οι Quin και συν. (2018) πρότειναν έναν ευέλικτο και αξιόπιστο εκτιμητή της μονόφθαλμης οπτικο-αδρανειακής κατάστασης (VINS-Mono). Η προσέγγιση αυτή ξεκίνησε με μια στιβαρή διαδικασία για την αρχικοποίηση του εκτιμητή. Εφαρμόστηκε μια μη γραμμική μέθοδος με διαδικασία βελτιστοποίησης για την απόκτηση οπτικο-αδρανειακής οδομετρίας υψηλότερης ακρίβειας με τη συγχώνευση μετρήσεων της προ-ενσωματωμένης αδρανειακής μονάδας μέτρησης και παρατηρήσεων του χαρακτηριστικού. Μια ενότητα ανίχνευσης βρόχων σε συνδυασμό με τη συζευγμένη διατύπωση επέτρεψε τον ελάχιστο υπολογισμό του επανατοποθέτησης. Η εργασία που παρουσιάστηκε ήταν ένα πλήρες, αξιόπιστο και ευέλικτο σύστημα που ήταν εφαρμόσιμο για πολλές εφαρμογές που απαιτούν εντοπισμό με υψηλότερη ακρίβεια. Οι Nicholson και συν. (2019) παρουσίασαν μια τεχνική για 2D (δισδιάστατη) ανίχνευση αντικειμένων με διάφορες προβολές για την ταυτόχρονη αξιολόγηση μιας τετραγωνικής 3D (τριδιάστατης) επιφάνειας για κάθε αντικείμενο και θέση εντοπισμού της κάμερας. Η εργασία αυτή περιλάμβανε επίσης την ανάπτυξη ενός μοντέλου του αισθητήρα για την ανίχνευση αντικειμένων που αντιμετώπιζε το πρόβλημα των μερικώς ορατών αντικειμένων και απεικόνιζε τον τρόπο αμοιβαίας αξιολόγησης της θέσης της κάμερας και των διπλών περιορισμένων τετραγωνικών παραμέτρων στο γράφημα του SLAM με βάση τους παράγοντες που έχει γενική προοπτική κάμερας.

Οι Yurtsever και συν. (2020) συζήτησαν τις αναδυόμενες τεχνολογίες και τις κοινές πρακτικές στην αυτόνομη οδήγηση. Η μελέτη αυτή περιέγραψε επίσης ζητήματα με την αυτόματη οδήγηση, όπως άλματα προβλήματα και τεχνικές πτυχές. Η μελέτη περιελάμβανε αναδυόμενες μεθοδολογίες, σημερινές προκλήσεις, αρχιτεκτονικές συστημάτων υψηλού επιπέδου και βασικές λειτουργίες που έχουν χαρτογράφηση, σχεδιασμό, αντίληψη, διεπαφές ανθρώπου-μηχανής και εντοπισμό, οι οποίες εξετάστηκαν διεξοδικά. Οι Zhu και συν. (2021) εξέτασαν τις μεθόδους βαθιάς ενισχυτικής μάθησης (DRL) και ένα πλαίσιο πλοήγησης βασισμένο σε DRL. Στη συνέχεια, έκανε μια συστηματική σύγκριση και ανάλυση των διαφορών και των σχέσεων μεταξύ τεσσάρων σημαντικών σεναρίων εφαρμογής: πλοήγηση σε εσωτερικούς χώρους, κοινωνική πλοήγηση και τοπική αποφυγή εμποδίων. Τέλος, περιγράφηκε η ανάπτυξη της πλοήγησης με βάση την DRL.

2.2 Τρέχουσες τεχνολογίες στην υποστήριξη της κινητικότητας

Σύμφωνα με τις προηγούμενες ενότητες, κάθε ρομπότ που θα μπορούσε με κάποιο τρόπο να ενσωματώσει μία ή περισσότερες από τις προαναφερθείσες τεχνολογίες αισθητήρων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κινητικότητας ενός ανθρώπινου υποκειμένου, αν και ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες είναι αδύνατο να εφαρμοστούν σε μια ρομποτική τεχνολογία, όπως η WS και η FS. Ως εκ τούτου, επικεντρωθήκαμε εδώ σε ρομποτικές πλατφόρμες που ανήκουν στην κατηγορία των βοηθητικών ρομπότ για την υποστήριξη ηλικιωμένων ατόμων με κινητικούς περιορισμούς (Penteridis et al., 2017).



Εικόνα 2: Τεχνολογικός εξοπλισμός υποβοήθησης κινητικότητας. Πηγή: *Frontiers*

Ανθρωποειδή ρομπότ. Το κύριο χαρακτηριστικό των ανθρωποειδών ρομπότ είναι ο ανθρωπομορφισμός και η υψηλή κινητικότητα, με ορισμένα από αυτά να μπορούν να

εκτελούν ποικίλες σωματικές κινήσεις και τα περισσότερα από αυτά να λειτουργούν και ως σύντροφοι. Δεν ανήκουν μόνο στην ευρύτερη κατηγορία των κοινωνικών ρομπότ, αλλά θα μπορούσαν επίσης να ενταχθούν και στην κατηγορία τύπου συντρόφου. Σήμερα, τα ανθρωποειδή ρομπότ χρησιμοποιούνται ως ερευνητικό εργαλείο σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Αν και τα ανθρωπομορφικά χαρακτηριστικά πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά, ο ίδιος ο ανθρωπομορφισμός θεωρείται χρήσιμο χαρακτηριστικό στην ένταξη και τις διαδραστικές συνεδρίες, καθώς διευκολύνει την ευκολότερη αλληλεπίδραση και την καλύτερη επικοινωνία. Υπάρχουν ενδείξεις ότι ορισμένα προηγμένα ανθρωποειδή ρομπότ, όπως τα ρομπότ Partner και το Bandit-II, έχουν χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη της φροντίδας ηλικιωμένων. Πρόκειται για ερευνητικά ρομπότ που είναι ακριβά, δεν είναι ακόμη διαθέσιμα στο εμπόριο και η ανάπτυξή τους βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Όλα χρησιμοποιούν λειτουργικά συστήματα βασισμένα στο Linux και τα περισσότερα από αυτά είναι συμβατά με το Robot Operating System (ROS). Λόγω των χαρακτηριστικών τους ως ανθρωποειδών ρομπότ, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη των ηλικιωμένων και των ατόμων που κινδυνεύουν να αποκλειστούν. Τέλος, υπάρχουν ορισμένα ανθρωποειδή ρομπότ όπως τα NAO και Nimbro-OP. Πρόκειται για οικονομικά προσιτά και εμπορικά διαθέσιμα (από 7.000€ έως 22.000€) ανθρωπόμορφα ρομπότ που χρησιμοποιούνται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς. Έχουν ύψος περίπου 45-80 cm και βάρος από 3 έως 5 kg. Όλα χρησιμοποιούν λειτουργικό σύστημα βασισμένο στο Linux και είναι συμβατά με το ROS. Το NAO έχει ήδη χρησιμοποιηθεί για την υποστήριξη αυτιστικών παιδιών και έχει χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλον υποβοηθητικής διαβίωσης για την υποστήριξη ηλικιωμένων. Υπάρχει επίσης πρόσφατη μελέτη που υποστηρίζει ότι το Nimbro-OP έχει χρησιμοποιηθεί ως ρομπότ-συνοδός για την υποστήριξη ηλικιωμένων. Όλα διαθέτουν οπτικούς αισθητήρες, οπότε θεωρητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ανθρώπινης κινητικότητας και της βάδισης με το κατάλληλο λογισμικό. (Penteridis et al., 2017).

Εξωσκελετοί. Αρκετοί μηχανοκίνητοι εξωσκελετοί είναι σήμερα διαθέσιμοι και σε κλινική χρήση. Υπάρχουν ορισμένα στοιχεία που υποστηρίζουν τη χρησιμότητά τους για την αποκατάσταση σε εγκεφαλικά επεισόδια και άλλες επίκτητες εγκεφαλικές βλάβες. Τα τρέχοντα συστήματα έχουν πολλούς περιορισμούς και υπάρχουν μυριάδες διαφορές στη μηχανολογική τους ιδέα, στον σχεδιασμό, στον μηχανισμό ελέγχου και στην απόδοσή τους. Η βοήθεια του εξωσκελετού θεωρείται ότι μειώνει λιγότερο τη μυϊκή κόπωση σε σύγκριση με το κανονικό περπάτημα. Μελετημένοι εξωσκελετοί για ηλικιωμένους με μειωμένη κινητικότητα είναι οι εξής: Superflex και Hybrid Assistive Limb (HAL). Αντί να φαντάζονται

το ανθρωποειδές ρομπότ ως ένα πλαστικό άτομο που έχει δύο χέρια και δύο πόδια, οι εξωσκελετοί, όπως το Superflex, προτείνουν ότι το ρομπότ θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε καθημερινά ενδύματα. Η τεχνολογία ελαστικών μυών της Superflex προβλέπει τον συνδυασμό μιας στολής και μιας ταινίας κινησιολογίας. Οι αισθητήρες της στολής υποτίθεται ότι είναι σε θέση να παρακολουθούν τη στάση και την κίνηση του σώματος και να επεξεργάζονται γρήγορα τα δεδομένα για να στείλουν μια κινητική βοήθεια όταν ο χρήστης γέρνει προς τα εμπρός σε μια καρέκλα, ετοιμάζεται να σηκωθεί ή ακόμη και όταν αρχίζει να σηκώνει τα χέρια του πάνω από το κεφάλι του. Όσον αφορά το HAL, μελέτες έχουν αξιολογήσει την ικανότητα αυτού του εξωσκελετού να παρέχει εξειδικευμένη για κάθε εργασία κινητική εκπαίδευση σε άτομα μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο, καθώς και μια κλινική συσκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θεραπευτικές συνεδρίες για άτομα με περιορισμένη κινητικότητα από εγκεφαλικό επεισόδιο ή άλλες μυοσκελετικές παθήσεις (Penteridis et al., 2017).



Εικόνα 3: Εξωσκελετός. Πηγή: Analytics Insight

Σε αυτές τις μελέτες, τα δεδομένα έδειξαν ότι το HAL είναι ικανό να βελτιώσει τη βάρδια και τη στάση του κορμού των ατόμων, καθώς και να ενισχύσει την προπόνηση στον διάδρομο, με βάση τις δοκιμασίες βάρδιας 10 μέτρων και 6 λεπτών, τις κινητικές βαθμολογίες των κάτω άκρων και τη χρονομετρημένη δοκιμασία up and go. Το HAL αναφέρθηκε επίσης ως ασφαλές όταν χρησιμοποιείται παράλληλα με ένα πρόγραμμα αποκατάστασης σε νοσοκομείο. Οι εξωσκελετοί φαίνεται να είναι ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση για να επιτραπεί στους ασθενείς να περπατούν σε διάφορα περιβάλλοντα, σε διαφορετικές επιφάνειες και σε ορισμένες περιπτώσεις υπό τον δικό τους έλεγχο (δηλαδή, ενεργοποίηση βάρδιας ελεγχόμενη από τον ασθενή) (Penteridis et al., 2017).

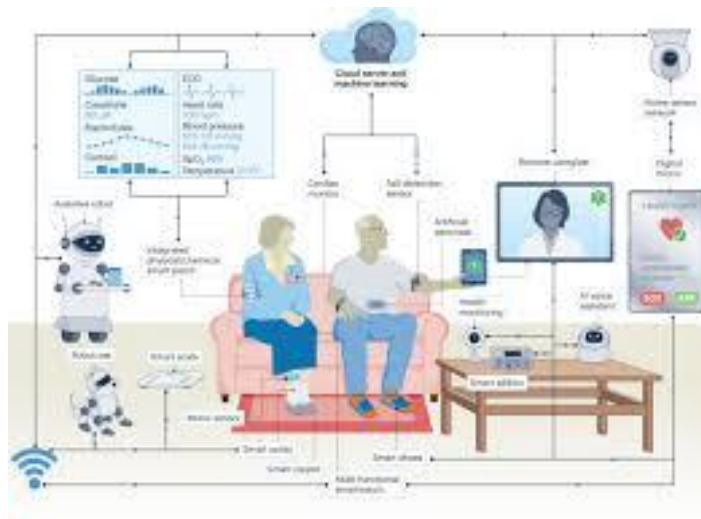
Ρομπότ που μοιάζει με εργαλείο. Μεταξύ των ρομπότ που μοιάζουν με εργαλεία για την ανθρώπινη κινητικότητα, μόνο το αναπηρικό αμαξίδιο με ηλεκτρική υποβοήθηση (PAW)

είναι κατάλληλο για ηλικιωμένους. Τα αναπηρικά αμαξίδια που έχουν ενισχύσει την κίνηση των ατόμων με μυϊκή αδυναμία ή παράλυση μπορούν ακόμη να βελτιωθούν με τη χρήση διαφόρων υποστηρικτικών τεχνολογιών, για παράδειγμα, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ευρέως τα ηλεκτρικά αναπηρικά αμαξίδια για την ενίσχυση της ευελιξίας και της ασφάλειας των ανθρώπων. Το PAW είναι ένας σχετικά νέος τύπος αναπηρικού αμαξιδίου, το οποίο είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες στρέψης για τη μέτρηση της δύναμης που ασκείται στις ζάντες από έναν άνθρωπο και παρέχει την υποβοηθητική ροπή με βάση τη μετρούμενη δύναμη. Με αυτή τη διαδικασία προώθησης, ο χρήστης εξακολουθεί να μπορεί να συμμετέχει στην προώθηση του αναπηρικού αμαξιδίου, ενώ η υποβοηθητική ροπή μπορεί να ανακουφίσει τον χρήστη από την προσπάθεια προώθησης. Αυτό το PAW είναι μια περίπτωση διεπαφής ανθρώπου-μηχανής και απαιτεί επαρκή έλεγχο των υποβοηθητικών ροπών για να αλληλεπιδράσει με έναν άνθρωπο χωρίς συγκρούσεις (Penteridis et al., 2017).

Ρομπότ αποκατάστασης. Για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ανάκτηση της φυσιολογικής λειτουργίας της κινητικότητας, η αποκατάσταση της βάδισης, όπως η εκπαίδευση της κίνησης, χρησιμοποιείται συνήθως ως θεραπεία. Από αυτή την άποψη, το ρομπότ υποβοήθησης της βάδισης είναι σημαντικά χρήσιμο. Πρόκειται για μια βοηθητική συσκευή για τη δυνατότητα ασφαλούς, σταθερής και αποτελεσματικής μετακίνησης σε ηλικιωμένα άτομα. Μια μελέτη πρότεινε έναν αλγόριθμο κοινού ελέγχου με βάση την ενισχυτική μάθηση για ευφύες ρομπότ βάδισης-βοήθειας για την αντιμετώπιση των υφιστάμενων προβλημάτων ελέγχου στο συνεργατικό σύστημα ρομπότ βάδισης-βοήθειας. Με τη δυναμική προσαρμογή του βάρους ελέγχου του χρήστη σύμφωνα με τη διαφορετική αποτελεσματικότητα ελέγχου του χρήστη και τα περιβάλλοντα βάδισης, το ρομπότ μπορεί να βελτιώσει το βαθμό άνεσης του χρήστη κατά τη χρήση της συσκευής και να προσαρμοστεί αυτόματα στη συμπεριφορά του χρήστη (Penteridis et al., 2017).

Ρομπότ υπηρεσιών. Ένα ρομπότ εξυπηρέτησης είναι ένα ρομπότ που εκτελεί χρήσιμες εργασίες για τον άνθρωπο ή τον εξοπλισμό εξαιρουμένης της εφαρμογής βιομηχανικού αυτοματισμού. Υπάρχει πληθώρα ρομπότ εξυπηρέτησης, ορισμένα χρησιμοποιούνται ενεργά στην έρευνα και άλλα απασχολούνται σε περιβάλλοντα όπου οι στόχοι αξιοποίησής τους είναι ξενοδοχεία, νοσοκομεία, γηριατρικά κέντρα ή ακόμη και σπίτια. Τα ASTROmobile, Care-o-bot, Enon, Carebot, Human Support Robot (HSR), IRT55 home assistant, REEM H1, PR2, SmartPal V, Twenty One, UFES Smart Walker και Assistant Personal Robot (APR) είναι όλα ρομπότ υπηρεσιών που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη ηλικιωμένων. Ενώ η χρήση τους θα μπορούσε να δει διάφορα διαφορετικά σενάρια απασχόλησης, ο κύριος σκοπός τους

περιστρέφεται γύρω από την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων χρηστών, με ή χωρίς αναπηρία. Κάποια από αυτά είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, κάποια όχι, κάποια είναι οικονομικά προσιτά (π.χ. Carebot) και κάποια είναι απαγορευτικά ακριβά (π.χ. PR2, Care-o-bot). Λόγω της φύσης τους και του ρόλου τους, τα ρομπότ εξυπηρέτησης θα μπορούσαν ενδεχομένως να δουν κάποια οφέλη στην ένταξη, καθώς μπορούν να προσφέρουν τόσο υποστηρικτικό ρόλο για τις σωματικές ανάγκες όσο και να προκαλέσουν γνωστικά και εκπαιδευτικά τον χρήστη ή τους χρήστες τους. Όπου υστερούν σε κινητικότητα (λόγω της χρήσης τροχιών ή πλατφόρμας με τροχούς αντί για πόδια όπως τα περισσότερα ανθρωποειδή), το αναπληρώνουν με το ευρύ φάσμα λειτουργιών, τη μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, την υπολογιστική ισχύ και τη μακρά ερευνητική ιστορία τους. Τεχνικά, τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα ρομπότ υπηρεσιών λειτουργούν με λειτουργικό σύστημα Linux και είναι συμβατά με το ROS. Όλα διαθέτουν οπτικούς αισθητήρες, οπότε θεωρητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ανθρώπινης κινητικότητας και βάδισης με το κατάλληλο λογισμικό (Penteridis et al., 2017).



Εικόνα 4: Η αξιοποίηση των ρομπότ. Πηγή: Built In

Ρομπότ συντροφικού τύπου: κατοικίδια ζώα. Ένας διαφορετικός τύπος ρομπότ, θεραπευτικό κατοικίδιο ζώο και κοινωνικός βοηθός με τη μία ή την άλλη μορφή, έχει ως στόχο να παρέχει συντροφιά και να βοηθά τον χρήστη του. Τα περισσότερα είναι συνήθως προσομοιωμένα ζώα και η βοήθειά τους είναι συναισθηματική ή γνωστική προς τον χρήστη τους και όχι σωματική (στην περίπτωση αυτή, ανατρέξτε στη ρομποτική υπηρεσιών). Τέτοια ρομπότ είναι τα Paro Pleo, Buddy, PaPeRo Petit και iCat και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς ένταξης. Βασίζονται κυρίως στην επικοινωνία, τις αλληλεπιδράσεις και τις συναισθηματικές

αντιδράσεις του χρήστη τους. Ωστόσο, η ενσάρκωσή τους είναι συνήθως περιορισμένη λόγω του ότι αναπαρίστανται ως ζώα ή κατοικίδια ζώα. Αυτά τα ρομπότ είναι συνήθως φθηνότερα. Όλα διαθέτουν οπτικούς αισθητήρες (κάμερες), οπότε θεωρητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της ανθρώπινης κινητικότητας και βάδισης με το κατάλληλο λογισμικό. Τέλος, υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορούν να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων (Penteridis et al., 2017).

3 Θεωρητικό πλαίσιο

3.1 Αρχές Υποβοήθησης της Ρομποτικής Κινητικότητας

Η ρομποτική υποστήριξη της κινητικότητας αναφέρεται στη χρήση προηγμένων ρομποτικών συστημάτων για τη βοήθεια ατόμων, ιδίως ηλικιωμένων, στην εκτέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων που απαιτούν σωματική κίνηση. Τα συστήματα αυτά έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των ατόμων με κινητικές δυσκολίες, επιτρέποντάς τους να διατηρούν την ανεξαρτησία τους και να συμμετέχουν πληρέστερα σε κοινωνικές και προσωπικές δραστηριότητες. Το σκεπτικό πίσω από τη χρήση ρομποτικής υποστήριξης της κινητικότητας στη φροντίδα ηλικιωμένων έχει τις ρίζες του στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που θέτει ο γηράσκων πληθυσμός, ο οποίος συχνά αντιμετωπίζει μειωμένες φυσικές ικανότητες, όπως μειωμένη μυϊκή δύναμη, προβλήματα ισορροπίας και πόνο στις αρθρώσεις (Abd El Fatah et al., 2024).



Εικόνα 5: Υποβοήθηση κινητικότητας με ρομποτική τεχνολογία. Πηγή: MDPI

Η λογική πίσω από τη ρομποτική βοήθεια στη φροντίδα ηλικιωμένων

Καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός γερνάει, υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για λύσεις που επιτρέπουν στους ηλικιωμένους να ζουν ανεξάρτητα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η ρομποτική βοήθεια κινητικότητας παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις φροντίδας. Αυτά περιλαμβάνουν:

1. Ενισχυμένη ανεξαρτησία: Η ρομποτική μπορεί να βοηθήσει τα ηλικιωμένα άτομα να εκτελούν εργασίες που διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να φέρουν εις πέρας μόνοι

τους, μειώνοντας την εξάρτηση από τους ανθρώπινους φροντιστές και ενισχύοντας την αίσθηση της αυτονομίας.

2. Βελτιωμένη ασφάλεια: Τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να μειώσουν τον κίνδυνο πτώσεων και τραυματισμών παρέχοντας σταθερή υποστήριξη και παρακολούθηση των κινήσεων του χρήστη σε πραγματικό χρόνο.
3. Αυξημένη κινητικότητα: Με τη βοήθεια των ρομποτικών συσκευών, οι χρήστες μπορούν να κινούνται πιο ελεύθερα και με αυτοπεποίθηση, είτε σε εσωτερικούς είτε σε εξωτερικούς χώρους, γεγονός που συμβάλλει στην καλύτερη σωματική υγεία και ψυχική ευεξία.
4. Οικονομική αποδοτικότητα: Αυτό μπορεί να είναι οικονομικά επωφελές τόσο για τα άτομα όσο και για τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης (Abd El Fatah et al., 2024).
5. Εξατομικευμένη βοήθεια: Οι ρομποτικές συσκευές κινητικότητας μπορούν να προσαρμοστούν στις ατομικές ανάγκες, προσαρμοζόμενες σε συγκεκριμένες προκλήσεις και προτιμήσεις κινητικότητας.

Βασικές τεχνολογίες στη ρομποτική βοήθεια κινητικότητας

Τα ρομποτικά συστήματα υποβοήθησης της κινητικότητας βασίζονται σε μια βάση προηγμένων τεχνολογιών που συνεργάζονται για την παροχή αποτελεσματικής υποστήριξης. Τα βασικά στοιχεία αυτών των συστημάτων περιλαμβάνουν ενεργοποιητές, αισθητήρες και συστήματα ελέγχου. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας και αλληλεπίδρασης αυτών των συστατικών είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη και την εφαρμογή επιτυχημένων ρομποτικών βοηθημάτων κινητικότητας (Abd El Fatah et al., 2024).

Ενεργοποιητές

Οι ενεργοποιητές είναι τα μηχανικά εξαρτήματα που παρέχουν κίνηση στα ρομποτικά συστήματα. Είναι υπεύθυνοι για τη μετατροπή της ενέργειας σε κίνηση και είναι ζωτικής σημασίας για την παροχή της φυσικής υποστήριξης και βοήθειας που απαιτείται για την κινητικότητα. Οι ενεργοποιητές μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορους τύπους, μεταξύ των οποίων:

- Ηλεκτρικοί ενεργοποιητές: Χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες για την παραγωγή κίνησης. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε ρομποτικά συστήματα λόγω της ακρίβειας και της ευκολίας ελέγχου τους.
- Πνευματικοί ενεργοποιητές: Χρησιμοποιούν πεπιεσμένο αέρα για τη δημιουργία κίνησης. Χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές που απαιτούν γρήγορους χρόνους απόκρισης.
- Υδραυλικοί ενεργοποιητές: Χρησιμοποιούν πίεση ρευστού για τη δημιουργία κίνησης, παρέχοντας υψηλή δύναμη και ικανότητα φόρτωσης, η οποία είναι επωφελής για την υποστήριξη μεγάλων βαρών.
- Πιεζοηλεκτρικοί ενεργοποιητές: Χρησιμοποιούν υλικά που αλλάζουν σχήμα όταν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, κατάλληλα για μικρές, ακριβείς κινήσεις (Abd El Fatah et al., 2024).

Αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι ζωτικής σημασίας για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τον χρήστη και το περιβάλλον, επιτρέποντας στο ρομποτικό σύστημα να λαμβάνει τεκμηριωμένες αποφάσεις και να προσαρμόζει ανάλογα τις ενέργειές του. Οι βασικοί τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στη ρομποτική υποστήριξη της κινητικότητας περιλαμβάνουν:

- Αισθητήρες θέσης: Μετρούν τη θέση ή τη μετατόπιση ενός εξαρτήματος, διασφαλίζοντας ότι ο ενεργοποιητής κινείται σωστά.
- Αισθητήρες δύναμης: Ανιχνεύουν την ποσότητα της εφαρμοζόμενης δύναμης, χρήσιμοι για τη ρύθμιση της στήριξης και τη διατήρηση της ισορροπίας.
- Αισθητήρες κίνησης: Παρακολουθούν την κίνηση και την ταχύτητα, βοηθώντας στην παρακολούθηση της βάρδισης του χρήστη και στην προσαρμογή των ενεργειών του συστήματος.
- Αισθητήρες εγγύτητας: Ανιχνεύουν κοντινά αντικείμενα, αποτρέποντας συγκρούσεις και εξασφαλίζοντας ασφαλή πλοήγηση.
- Αισθητήρες βιοανάδρασης: Παρακολουθούν φυσιολογικά σήματα όπως ο καρδιακός ρυθμός ή η μυϊκή δραστηριότητα, επιτρέποντας στο σύστημα να προσαρμόζεται στη φυσική κατάσταση του χρήστη (Abd El Fatah et al., 2024).

Συστήματα ελέγχου

Τα συστήματα ελέγχου είναι ο εγκέφαλος των ρομποτικών συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας. Επεξεργάζονται τα δεδομένα από τους αισθητήρες και δίνουν εντολή στους ενεργοποιητές να εκτελούν τις επιθυμητές ενέργειες. Τα συστήματα ελέγχου μπορεί να κυμαίνονται από απλούς βρόχους ανατροφοδότησης έως πολύπλοκους αλγορίθμους που χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική μάθηση για να προβλέπουν και να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του χρήστη. Οι κύριες λειτουργίες των συστημάτων ελέγχου περιλαμβάνουν:

- Έλεγχος ανατροφοδότησης: Χρησιμοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την προσαρμογή των ενεργειών, διασφαλίζοντας ότι το σύστημα εκτελεί τα προβλεπόμενα.
- Προσαρμοστικός έλεγχος: Μαθαίνει από τη συμπεριφορά του χρήστη και προσαρμόζει την απόδοση ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα στις ατομικές ανάγκες.
- Προβλεπτικός έλεγχος: Προβλέπει τις κινήσεις του χρήστη και προσαρμόζει τις ενέργειες του συστήματος προληπτικά (Aggar et al., 2023).

Ενσωμάτωση τεχνολογιών

Η ενσωμάτωση των ενεργοποιητών, των αισθητήρων και των συστημάτων ελέγχου είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών ρομποτικών συσκευών υποβοήθησης της κινητικότητας. Η ενσωμάτωση αυτή επιτρέπει στο σύστημα να παρέχει ομαλή, ευέλικτη και προσαρμοστική υποστήριξη, ενισχύοντας την κινητικότητα και την ασφάλεια του χρήστη. Για παράδειγμα, σε έναν ρομποτικό εξωσκελετό, οι αισθητήρες μπορεί να ανιχνεύουν την πρόθεση του χρήστη να σταθεί όρθιος, ενεργοποιώντας τους ενεργοποιητές για την υποβοήθηση της κίνησης, ενώ τα συστήματα ελέγχου διασφαλίζουν την ασφαλή και ομαλή εκτέλεση της ενέργειας.

Τύποι βοήθειας που παρέχονται από ρομποτικές συσκευές κινητικότητας

Οι ρομποτικές συσκευές κινητικότητας μπορούν να προσφέρουν διάφορες μορφές βοήθειας, ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες του χρήστη. Αυτές περιλαμβάνουν την υποστήριξη για την ορθοστασία, τη βάρδιση και την ισορροπία, καθεμία από τις οποίες απαιτεί διαφορετικές τεχνολογικές υλοποιήσεις και εκτιμήσεις (Aggar et al., 2023).

Υποστήριξη για ορθοστασία

Για πολλά ηλικιωμένα άτομα, η ορθοστασία από την καθιστή θέση μπορεί να αποτελέσει πρόκληση. Οι ρομποτικές συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για την υποβοήθηση της ορθοστασίας παρέχουν συνήθως υποστήριξη με την εφαρμογή δύναμης στα πόδια ή στο κάτω μέρος της πλάτης, βοηθώντας τους χρήστες να μεταβούν ομαλά από το κάθισμα στην ορθοστασία.

Παραδείγματα

- Ρομποτικοί εξωσκελετοί: Αυτές οι φορητές συσκευές υποστηρίζουν το σώμα του χρήστη και παρέχουν πρόσθετη δύναμη κατά τη διάρκεια των κινήσεων. Συχνά ενσωματώνουν αισθητήρες για να ανιχνεύουν πότε ο χρήστης σκοπεύει να σταθεί και ενεργοποιητές για να βοηθούν στην ενέργεια. Εξωσκελετοί όπως το EksoGT και το ReWalk χρησιμοποιούνται στην αποκατάσταση και την υποστηρικτική φροντίδα για να βοηθήσουν τα άτομα να σταθούν και να περπατήσουν.
- Καρέκλες ανύψωσης: Μηχανοκίνητες καρέκλες που βοηθούν τους χρήστες να σταθούν όρθιοι με κλίση και ανύψωση του καθίσματος. Αυτές είναι απλούστερες από τους εξωσκελετούς αλλά αποτελεσματικές για άτομα που χρειάζονται κυρίως βοήθεια στη μετάβαση από το κάθισμα στην ορθοστασία (Aggar et al., 2023).

Υποστήριξη για περπάτημα

Η βοήθεια κατά τη βάδιση είναι μία από τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές των ρομποτικών συσκευών κινητικότητας. Τα συστήματα αυτά βοηθούν τους χρήστες να διατηρούν τη σταθερότητα, να βελτιώνουν το βάδισμα και να ενισχύουν την αντοχή κατά τη διάρκεια του βαδίσματος.

Παραδείγματα

- Ρομποτικοί περιπατητές: Προηγμένοι περιπατητές εξοπλισμένοι με αισθητήρες και κινητήρες για την παροχή δυναμικής υποστήριξης. Μπορούν να προσαρμόζουν την ταχύτητα και την κατεύθυνσή τους με βάση τις κινήσεις του χρήστη. Συσκευές όπως το UPWalker προσφέρουν εργονομική υποστήριξη, μειώνοντας την καταπόνηση των αρθρώσεων και των μυών.
- Εκπαιδευτές βάδισης: Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούνται συχνά σε περιβάλλοντα αποκατάστασης για να βοηθήσουν τους χρήστες να ανακτήσουν τις ικανότητες βάδισης. Παρέχουν υποστήριξη και καθοδήγηση, βοηθώντας τα άτομα να εξασκηθούν στα σωστά μοτίβα βάδισης. Το Lokomat είναι ένα παράδειγμα

εκπαιδευτή βάρδισης που χρησιμοποιεί ρομποτικά πόδια για να βοηθήσει στη θεραπεία βάρδισης (Bradwell et al., 2024).

Υποστήριξη για την εξισορρόπηση

Η ισορροπία είναι μια κρίσιμη πτυχή της κινητικότητας και τα ρομποτικά συστήματα μπορούν να προσφέρουν βοήθεια σταθεροποιώντας τους χρήστες και αποτρέποντας τις πτώσεις.

Παραδείγματα

- **Ρομπότ ισορροπίας:** Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν γυροσκοπικούς αισθητήρες για να ανιχνεύουν τις αλλαγές στην ισορροπία και να προσαρμόζουν τη θέση τους ανάλογα. Μπορούν να παρέχουν μια σταθερή πλατφόρμα για τους χρήστες, συμβάλλοντας στην πρόληψη των πτώσεων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν ρομπότ όπως το iStride, το οποίο βοηθά τους χρήστες στην εξάσκηση της ισορροπίας και του συντονισμού.
- **Έξυπνα μαστούνια και πατερίτσες:** Εξοπλισμένες με αισθητήρες και μηχανισμούς ανατροφοδότησης, οι συσκευές αυτές βοηθούν τους χρήστες να διατηρούν την ισορροπία τους, παρέχοντας ειδοποιήσεις και προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο. Το SmartCane, για παράδειγμα, προσφέρει ανατροφοδότηση με δόνηση για να βοηθήσει τους χρήστες να διατηρήσουν τη σωστή στάση και ισορροπία (Bradwell et al., 2024).

Ενσωμάτωση με την ανθρώπινη κίνηση

Η αποτελεσματική ρομποτική υποστήριξη της κινητικότητας απαιτεί απρόσκοπτη ενσωμάτωση με την ανθρώπινη κίνηση. Αυτό προϋποθέτει την κατανόηση των αναγκών του χρήστη, των προτύπων κίνησης και των φυσικών ικανοτήτων του, ώστε να διασφαλιστεί ότι η συσκευή παρέχει τη βέλτιστη δυνατή υποστήριξη χωρίς να εμποδίζει τη φυσική κίνηση.

Κατανόηση των αναγκών του χρήστη

Οι ρομποτικές συσκευές κινητικότητας πρέπει να προσαρμόζονται στις ειδικές ανάγκες κάθε χρήστη, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως:

- **Σωματική κατάσταση:** Η δύναμη, η ευελιξία και η αντοχή του χρήστη θα επηρεάσουν το επίπεδο και τον τύπο της απαιτούμενης βοήθειας.

- Στόχοι κινητικότητας: Το αν ο χρήστης στοχεύει στην ανάκτηση της ανεξαρτησίας του, στη βελτίωση της φυσικής κατάστασης ή στη συμμετοχή σε συγκεκριμένες δραστηριότητες θα καθοδηγήσει το σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα της συσκευής.
- Περιβαλλοντικές εκτιμήσεις: Οι συνθήκες στις οποίες θα χρησιμοποιηθεί η συσκευή (π.χ. σπίτι, κοινότητα, εξωτερικό περιβάλλον) θα επηρεάσουν το σχεδιασμό και τα χαρακτηριστικά της (Bradwell et al., 2024).

Μοτίβα κίνησης

Η ανάλυση και η κατανόηση των ανθρώπινων προτύπων κίνησης είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη συσκευών που ενσωματώνονται αποτελεσματικά στη φυσική κίνηση του χρήστη.

Αυτό περιλαμβάνει:

- Ανάλυση βάρδισης: Μελέτη των μοτίβων βάρδισης του χρήστη για τον εντοπισμό τυχόν ανωμαλιών ή προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν.
- Καταγραφή κίνησης: Χρήση αισθητήρων και καμερών για την καταγραφή και ανάλυση των κινήσεων, παρέχοντας δεδομένα για τη βαθμονόμηση και την προσαρμογή της συσκευής.
- Εμβιομηχανική μοντελοποίηση: Δημιουργία μοντέλων της ανθρώπινης κίνησης για την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του χρήστη και της συσκευής (Carros et al., 2020).

Αλληλεπίδραση με το ανθρώπινο σώμα

Οι ρομποτικές συσκευές κινητικότητας πρέπει να αλληλεπιδρούν με το ανθρώπινο σώμα με τρόπο που να είναι άνετος, ασφαλής και αποτελεσματικός. Οι βασικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν:

- Εργονομία: Σχεδιασμός συσκευών που προσαρμόζονται άνετα στο σώμα του χρήστη, ελαχιστοποιώντας την καταπόνηση και τα σημεία πίεσης.
- Ασφάλεια: Διασφάλιση ότι η συσκευή δεν προκαλεί βλάβη ή δυσφορία, με δικλείδες ασφαλείας και χαρακτηριστικά έκτακτης ανάγκης για την αποφυγή ατυχημάτων.
- Προσαρμοστικότητα: Επιτρέποντας στη συσκευή να προσαρμόζεται στις αλλαγές της κατάστασης ή του περιβάλλοντος του χρήστη, παρέχοντας σταθερή υποστήριξη.

Παραδείγματα ενσωμάτωσης

- Εξωσκελετοί: Αυτές οι συσκευές συχνά περιλαμβάνουν ρυθμιζόμενα εξαρτήματα για την προσαρμογή σε διαφορετικά μεγέθη και σχήματα σώματος. Χρησιμοποιούν αισθητήρες για την ανίχνευση των προθέσεων του χρήστη και προσαρμόζουν τις ενέργειές τους ώστε να συμπληρώνουν τις φυσικές κινήσεις.
- Ρομποτική προσθετική: Τα προηγμένα προσθετικά μέλη ενσωματώνουν αισθητήρες και ενεργοποιητές για να μιμηθούν τη φυσική κίνηση των άκρων, παρέχοντας στους χρήστες υψηλό βαθμό ελέγχου και λειτουργικότητας.
- Έξυπνες αναπηρικές καρέκλες: Εξοπλισμένα με αισθητήρες και συστήματα ελέγχου, τα έξυπνα αναπηρικά αμαξίδια μπορούν να πλοηγούνται αυτόνομα, να αποφεύγουν τα εμπόδια και να προσαρμόζονται στις ανάγκες και τις προτιμήσεις του χρήστη (Carros et al., 2020).

3.2 Εμβιομηχανική της γήρανσης και πώς οι φορητές συσκευές μπορούν να βοηθήσουν

Το νευρομυϊκό σύστημα του ανθρώπου που γερνάει υφίσταται φυσιολογικές αλλαγές πέρα από την απώλεια μυϊκής μάζας και δύναμης, οι οποίες μπορεί επίσης να συμβάλλουν στη μειωμένη κινητικότητα, αν και σε πολλές περιπτώσεις οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί αυτών των αλλαγών και οι άμεσες επιπτώσεις τους στη εμβιομηχανική της βάδισης δεν έχουν ακόμη προσδιοριστεί πλήρως. Για παράδειγμα, η σωματική μάζα αυξάνεται με την ηλικία έως την ηλικία των 80 ετών περίπου, λόγω της αύξησης της λιπώδους μάζας και παρά την απώλεια της άλιπης μάζας στους άνδρες και στις γυναίκες (Kamper et al., 2021). Για την πλήρη κατανόηση των αλλαγών στη βάδιση με τη γήρανση, ιδίως όσον αφορά το μεταβολικό ενεργειακό κόστος, είναι σημαντικό να αποσαφηνιστεί γιατί συμβαίνουν αλλαγές στη σύνθεση του σώματος με την πάροδο του χρόνου και πώς επηρεάζουν την κινητικότητα.

Οι μεταβολές του κεντρικού νευρικού συστήματος που μπορεί να είναι επιζήμιες για τη βάδιση, όπως η συνενεργοποίηση των αγωνιστών και οι μεταβαλλόμενες μυϊκές συνέργειες, εμφανίζονται επίσης με τη γήρανση (Piche et al., 2022), αν και ο βαθμός στον οποίο αυτές είναι άμεσες επιπτώσεις της γήρανσης ή έμμεσες επιπτώσεις της αδράνειας και των ασθενειών δεν είναι προς το παρόν σαφής. Ανεξάρτητα από αυτό, οι αλλαγές αυτές μπορούν να μειώσουν την ικανότητα των μυών να παράγουν δύναμη και ισχύ και φαίνεται να επηρεάζουν τον έλεγχο της βάδισης και τον συντονισμό κατά τις διάφορες φάσεις της βάδισης (Piche et al., 2022). Υπάρχουν αναδυόμενες ευκαιρίες για την εδραίωση της γνώσης που

συνδέει τη νόηση και τις αλλαγές στη νόηση με την ηλικία με τη μεταβλητότητα, την πολυπλοκότητα και τη σταθερότητα της βάρδισης, καθώς και τις επιπτώσεις αυτών των παραγόντων στην κινητικότητα. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα θα πρέπει επίσης να επεκτείνει τις εργασίες σε νεότερους ενήλικες που έχουν δείξει μια σχέση μεταξύ της μεταβλητότητας της βάρδισης και του μεταβολικού κόστους της βάρδισης. Η υποβάθμιση του αισθητηριακού συστήματος συμβαίνει επίσης με τη γήρανση και μπορεί να οδηγήσει σε ελλείμματα στην όραση, την ιδιοδεκτικότητα, την αιθουσαία αντίληψη και τη δερματική αντίληψη (Allen et al., 2016). Δεν έχει επιλυθεί ούτε η ικανότητα του γηράσκοντος νευρικού συστήματος να προσαρμόζεται σε απρόβλεπτες προκλήσεις ή διπλές εργασίες κατά τη διάρκεια της βάρδισης, ούτε ο αντίκτυπος της κακής αισθητικοκινητικής λειτουργίας στη βάρδιση. Θα είναι επίσης σημαντικό να κατανοήσουμε πώς οι αλλαγές στο νευρικό σύστημα επηρεάζουν τη λειτουργία των σκελετικών μυών στο ρόλο τους για την υποστήριξη της κίνησης (Piche et al., 2022).

Η τεχνολογία των αισθητήρων αναπτύσσεται ταχύτατα για να βοηθήσει στην κατανόηση της λειτουργίας της κινητικότητας τόσο εντός όσο και εκτός εργαστηρίου και σε διάφορους πληθυσμούς. Θα είναι σημαντικό να καθιερωθεί και να διατηρηθεί η συνεργασία με επιστήμονες πληροφορικής και δεδομένων για την ερμηνεία των πολύπλοκων συνόλων δεδομένων που θα προκύψουν από αυτές τις μελέτες. Ολοκληρωμένες ομαδικές επιστημονικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν ερευνητές με διαφορετικά θεματικά υπόβαθρα θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε αυτό το πεδίο. Οι τεχνολογίες αισθητήρων θα προσφέρουν σημαντική ευκαιρία για την καθοδήγηση της ανάπτυξης και της αξιολόγησης των παρεμβάσεων για τη βελτίωση της κινητικότητας των ηλικιωμένων. Για παράδειγμα, ένα πρόγραμμα κινητικής εκμάθησης προσανατολισμένο στις εργασίες που αξιοποιεί τις τεχνολογίες ενεργών αισθητήρων μπορεί να βελτιώσει την κινητικότητα σε ηλικιωμένους ενήλικες βελτιώνοντας τις δεξιότητες που απαιτούνται για το περπάτημα (Hortobagyi et al., 2022).

Μπορεί να απαιτούνται διαφορετικές προσεγγίσεις για τα άτομα με αισθητηριακές ή αιθουσαίες ελλείψεις από ό,τι για τα άτομα με κόπωση ή σαρκοπενία. Θα είναι σημαντικό να μπορέσουμε να συνδυάσουμε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα ελλείμματα και τους στόχους ενός ατόμου με την πιο αποτελεσματική παρέμβαση (ή τις πιο αποτελεσματικές παρεμβάσεις) για τη βελτίωση της βάρδισης και της κινητικότητας. Τέλος, πρέπει να δοθεί προσοχή στα θέματα συμπεριφοράς, όπως οι αντιλαμβανόμενες ανάγκες, τα κίνητρα και η συμμόρφωση, προκειμένου να σχεδιαστούν αποτελεσματικές παρεμβάσεις. Η γνωστική εξασθένιση σχετίζεται με τον κίνδυνο περιορισμών της κινητικότητας στους ηλικιωμένους (Buchman et

al., 2011)- αλλά η αιτιώδης συνάφεια δεν έχει αποδειχθεί. Η γήρανση του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένων των δομικών και φυσιολογικών αλλαγών, μπορεί να είναι ένας κεντρικός μηχανισμός που επηρεάζει τόσο τη νόσηση όσο και τον νευρωνικό έλεγχο της βάδισης. Ο γνωστικός τομέας της εκτελεστικής λειτουργίας μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικός, ιδίως για την εκτέλεση απαιτητικών/πολύπλοκων καθηκόντων βάδισης (Hortobagyi et al., 2022). Μέχρι σήμερα, οι έρευνες έχουν δείξει ότι η προπόνηση άσκησης προκαλεί νευρικές αλλαγές στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Hortobagyi et al., 2022), αλλά μια μετανάλυση του 2018 έδειξε ότι η γνωστική προπόνηση μπορεί να βελτιώσει μόνο την κινητικότητα κατά τη διάρκεια απαιτητικών καθηκόντων βάδισης σε ηλικιωμένους ενήλικες. Χρειάζονται πρόσθετες, αυστηρές μελέτες για να αποδειχθεί εάν η προπόνηση μπορεί να προκαλέσει νευρικές αλλαγές που βελτιώνουν άμεσα την κινητικότητα σε ηλικιωμένους ενήλικες. Για τον σκοπό αυτό, απαιτούνται τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές συγκριτικής αποτελεσματικότητας για την αξιολόγηση της ικανότητας των γνωστικοκινητικών παρεμβάσεων, ιδανικά εκείνων που στοχεύουν τόσο στη νόσηση όσο και στην κινητική λειτουργία, να μειώνουν την αναπηρία της κινητικότητας. Ως πρώτο βήμα, θα πρέπει να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα τέτοιων δοκιμών. Θα χρειαστούν επίσης μελέτες για να εξεταστούν οι μηχανισμοί που εξηγούν πώς οι γνωστικοκινητικές θεραπείες βελτιώνουν την κινητική λειτουργία σε ηλικιωμένους ενήλικες (Hortobagyi et al., 2022).

3.3 Ηθικοί προβληματισμοί και αποδοχή από τον χρήστη

Για να προχωρήσει ο τομέας προς την κατανόηση της βάδισης και τη βελτίωση της κινητικότητας του γηράσκοντος πληθυσμού θα απαιτηθεί έρευνα που θα είναι πολύ πιο περιεκτική και ποικιλόμορφη από ό,τι ήταν συνηθισμένο μέχρι σήμερα. Πολύ συχνά, τα δείγματα ευκολίας από τοπικές πανεπιστημιακές κοινότητες αποτυγχάνουν να μελετήσουν άτομα με διαφορετικό κοινωνικοοικονομικό, φυλετικό, εθνοτικό, εκπαιδευτικό, επαγγελματικό και ικανό υπόβαθρο. Τα προβλήματα που δημιουργούνται από την έλλειψη ποικιλομορφίας περιλαμβάνουν, για παράδειγμα: αβεβαιότητα σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι γενετικοί έναντι των συμπεριφορικών παραγόντων επηρεάζουν τη διαδικασία γήρανσης και, συνεπώς, τους μηχανισμούς και τα αποτελέσματα που σχετίζονται με τη βάδιση και την ενεργητική, ή την ανάπτυξη στρατηγικών παρακολούθησης και παρεμβάσεων που μπορεί να μην είναι κατάλληλες σε όλους τους υποπληθυσμούς. Για να αυξηθεί η ποικιλομορφία και η ένταξη, θα πρέπει να δημιουργηθούν κοινοτικές συνεργασίες που θα είναι αμοιβαία επωφελείς για τα μέλη της κοινότητας και τους ερευνητές. Το Johnson County

Osteoarthritis Project προσφέρει ένα παράδειγμα μιας τέτοιας επιτυχημένης κοινοτικής συνεργασίας (Hartman et al., 2007).

Αυτό το κοινοτικό συμμετοχικό ερευνητικό έργο ενσωματώνει την ποικιλομορφία στο σχεδιασμό της μελέτης του, προκειμένου να εμπλέξει τα άτομα που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο να αναπτύξουν οστεοαρθρίτιδα. Πράγματι, η συμπερίληψη των ενδιαφερομένων στο σχεδιασμό πριν από τη μελέτη, όπως διαφορετικών ασθενών από τον πληθυσμό ενδιαφέροντος της μελέτης, κλινικών ιατρών, φροντιστών κ.λπ. μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι οι παρεμβάσεις ανταποκρίνονται στις ανάγκες τους και εφαρμόζονται με τρόπους που μπορούν να αυξήσουν την υιοθέτηση και τη συμμόρφωση με τους στόχους και το σχεδιασμό της μελέτης. Παρά ορισμένες επιτυχημένες συνεργασίες στον τομέα της κινητικότητας και της γήρανσης, παραμένουν πολλά αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με τον τρόπο διευκόλυνσης τέτοιων συνεργασιών, καθώς και με τον τρόπο ερμηνείας των αποτελεσμάτων που διαφέρουν ανάλογα με τη φυλή ή άλλη υποομάδα. Οι συνεργασίες με, για παράδειγμα, κοινωνικούς επιστήμονες, κλινικούς ερευνητές και/ή βιολόγους μπορεί να είναι σημαντικές για την ερμηνεία των δεδομένων με σκοπό την ενημέρωση για μελλοντικές παρεμβάσεις ή την προώθηση της περίθαλψης συγκεκριμένων πληθυσμών. Μια πρόκληση που οι συμμετέχοντες στο εργαστήριο θεώρησαν ότι πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι ο εντοπισμός τρόπων για τη βελτίωση της συμμετοχικότητας στην έρευνα, όπως η συμπερίληψη όλων των ατόμων που ενδιαφέρονται να συμμετάσχουν σε αυτές τις μελέτες. Τα αυστηρά κριτήρια συμπερίληψης και αποκλεισμού είναι σημαντικά για τη δημιουργία ομοιογενών ερευνητικών ομάδων προκειμένου να εξαχθούν οι διαφορές μεταξύ των ομάδων-ωστόσο, τα κριτήρια επιλεξιμότητας ενδέχεται να εμποδίζουν ορισμένες ομάδες ανθρώπων να εκπροσωπούνται σε ερευνητικές μελέτες.

Για παράδειγμα, μεταξύ των ενηλίκων άνω των 65 ετών, τα άτομα χωρίς ασθένεια ή αναπηρία συχνά υπερεκπροσωπούνται σε ερευνητικές μελέτες λόγω της καλής γενικής τους υγείας, της σχετικά καλής κατάστασης κινητικότητας και της χαμηλής επιβάρυνσης από συννοσηρότητες. Από κλινική άποψη, μπορούμε να ανατρέξουμε στον τομέα της γεροεπιστήμης για καθοδήγηση σχετικά με την αντιμετώπιση της μεταβλητότητας των αποκρίσεων σε προγράμματα παρέμβασης με άσκηση. Η γεροεπιστήμη είναι ο τομέας που στοχεύει στην κατανόηση της βασικής φυσιολογίας της γήρανσης για να εξηγήσει την αυξημένη εμφάνιση ασθενειών που σχετίζονται με την ηλικία καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής (Kennedy et al., 2014). Οι γνώσεις από τη γεροεπιστήμη και την «επιδημιολογία της διάρκειας ζωής» μπορούν να υποδείξουν κυτταρικούς και μοριακούς στόχους που επιτρέπουν

στους ερευνητές να εντοπίζουν άτομα που διατρέχουν κίνδυνο για διαταραχές της κινητικότητας και, περαιτέρω, να εντοπίζουν εξατομικευμένες παρεμβάσεις ή νέα θεραπευτικά μέσα για τη βελτίωση της κινητικότητας (Ferrucci et al., 2016).

Επιπλέον, οι έξυπνοι στατιστικοί σχεδιασμοί, η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ ερευνητικών ομάδων για τη δημιουργία μεγαλύτερων συνόλων δεδομένων και η ομαδική επιστήμη μπορεί να αποτελέσουν σημαντικές προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση της αναπόφευκτης μεταβλητότητας που θα εισαχθεί μέσω της χαλάρωσης των κριτηρίων επιλεξιμότητας ώστε να συμπεριληφθεί ένα πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα του γηράσκοντος πληθυσμού. Για το σκοπό αυτό, η καθιέρωση ενός κοινού βασικού συνόλου μεταβλητών έκβασης θα δημιουργούσε ενότητα μεταξύ των ερευνητικών μελετών και θα επέτρεπε τη συγκέντρωση δεδομένων και τη μεγαλύτερη σύγκριση των δεδομένων που συλλέγονται σε διαφορετικά εργαστήρια. Περαιτέρω, οι μετρήσεις αυτές θα πρέπει να είναι προσιτές στην πλειονότητα των ερευνητών, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να πραγματοποιηθούν εξίσου εύκολα σε μικρά αγροτικά εργαστήρια ή σε χώρους πεδίου όσο και σε μεγάλα αστικά ερευνητικά κέντρα (Ferrucci et al., 2016).

4 Σχεδιασμός φορητών ρομποτικών συσκευών

4.1 Βασικά χαρακτηριστικά και προδιαγραφές για την υποβοήθηση κινητικότητας ηλικιωμένων

Ο σχεδιασμός φορητών ρομποτικών συσκευών για την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων περιλαμβάνει διάφορες βασικές εκτιμήσεις, όπως η λειτουργικότητα, η προσαρμοστικότητα, η διεπαφή χρήστη, η ανθεκτικότητα και η αξιοπιστία. Οι συσκευές αυτές προορίζονται να βελτιώσουν την ποιότητα ζωής των ηλικιωμένων ατόμων παρέχοντας υποστήριξη για την ορθοστασία, τη βάρδιση και τη σταθεροποίηση, ενώ παράλληλα μπορούν να προσαρμοστούν στις μοναδικές ανάγκες κάθε χρήστη. Οι ακόλουθες ενότητες θα διερευνήσουν λεπτομερώς καθεμία από αυτές τις πτυχές, επισημαίνοντας τα βασικά χαρακτηριστικά και τις προδιαγραφές που καθιστούν αυτές τις συσκευές αποτελεσματικές, φιλικές προς τον χρήστη και βιώσιμες (Momim et al., 2022).

Λειτουργικότητα

Η πρωταρχική λειτουργία των φορητών ρομποτικών συσκευών για την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων είναι να βοηθούν τους χρήστες στην εκτέλεση καθημερινών δραστηριοτήτων που απαιτούν σωματική κίνηση. Οι συσκευές αυτές έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν σε συγκεκριμένες εργασίες, όπως η ορθοστασία, το περπάτημα και η διατήρηση της ισορροπίας. Κάθε συσκευή διαθέτει μοναδικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες προσαρμοσμένες στην προβλεπόμενη λειτουργία της (Momim et al., 2022).

Βοήθεια στην ορθοστασία

Οι συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για την υποβοήθηση της ορθοστασίας βοηθούν τους χρήστες να μεταβούν από την καθιστή στην όρθια θέση. Η λειτουργία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για άτομα με περιορισμένη δύναμη στο κάτω μέρος του σώματος ή προβλήματα ισορροπίας. Το εύρος κίνησης των συσκευών υποβοήθησης της όρθιας στάσης περιλαμβάνει συνήθως τη στήριξη του κάτω μέρους της πλάτης και των ποδιών του χρήστη, παρέχοντας ανύψωση και σταθερότητα για τη διευκόλυνση της μετάβασης.

Για παράδειγμα, μια ρομποτική καρέκλα ανύψωσης μπορεί να παρέχει μια ήπια ώθηση προς τα πάνω για να βοηθήσει τον χρήστη να σταθεί όρθιος, ενώ ένας φορητός εξωσκελετός μπορεί να χρησιμοποιεί ενεργοποιητές για την έκταση των γονάτων και των γοφών, υποστηρίζοντας το βάρος και την κίνηση του χρήστη. Η δύναμη ή η υποστήριξη δύναμης που

προσφέρουν αυτές οι συσκευές ποικίλλει, ενώ ορισμένες είναι ικανές να ανυψώσουν άτομα που ζυγίζουν έως και 300 κιλά ή και περισσότερο, ανάλογα με το μοντέλο και τις προδιαγραφές σχεδιασμού (Momim et al., 2022).

Βοήθεια στο περπάτημα

Οι συσκευές υποβοήθησης βάδισης έχουν σχεδιαστεί για να ενισχύουν την ικανότητα του χρήστη να κινείται με ασφάλεια και άνεση. Αυτές οι συσκευές προσφέρουν συνήθως υποστήριξη για το σώμα του χρήστη, διατηρούν τη σωστή ευθυγράμμιση και βοηθούν στη βελτίωση της βάδισης. Το εύρος της κίνησης για τις συσκευές υποβοήθησης βάδισης είναι πιο εκτεταμένο, και συχνά περιλαμβάνει το συντονισμό πολλών αρθρώσεων και άκρων (Osoba et al., 2019).

Οι ρομποτικοί εξωσκελετοί, για παράδειγμα, παρέχουν μηχανοκίνητη βοήθεια στα πόδια, επιτρέποντας στους χρήστες να περπατούν με μειωμένη προσπάθεια και αυξημένη σταθερότητα. Αυτές οι συσκευές μπορούν να υποστηρίξουν διάφορες ταχύτητες βάδισης και να προσαρμοστούν σε διαφορετικά εδάφη, από ομαλά δάπεδα εσωτερικών χώρων έως ανώμαλες εξωτερικές επιφάνειες. Η υποστήριξη της δύναμης που παρέχουν οι συσκευές υποβοήθησης βάδισης διασφαλίζει ότι οι χρήστες μπορούν να διατηρούν την ισορροπία και τη στάση του σώματος κατά την κίνηση.

Υποστήριξη σταθεροποίησης

Οι συσκευές που προσφέρουν υποστήριξη σταθεροποίησης επικεντρώνονται στο να βοηθούν τους χρήστες να διατηρούν την ισορροπία τους και να αποτρέπουν τις πτώσεις. Αυτές είναι ζωτικής σημασίας για άτομα με διαταραχές ισορροπίας ή άτομα που αναρρώνουν από χειρουργικές επεμβάσεις ή τραυματισμούς. Οι συσκευές σταθεροποίησης συχνά ενσωματώνουν γυροσκοπικούς αισθητήρες και μηχανισμούς ανατροφοδότησης για την ανίχνευση των μετατοπίσεων της ισορροπίας και την παροχή διορθωτικών ενεργειών (Osoba et al., 2019).

Ένας ρομποτικός περιπατητής με χαρακτηριστικά σταθεροποίησης μπορεί να χρησιμοποιεί αισθητήρες για να παρακολουθεί το κέντρο βάρους του χρήστη και να προσαρμόζει ανάλογα τη στήριξή του. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει μικρές προσαρμογές στη θέση του περιπατητή ή την ενεργοποίηση μηχανισμών σταθεροποίησης για την αποφυγή ανατροπής. Το εύρος της κίνησης για τις συσκευές σταθεροποίησης περιορίζεται συνήθως στις προσαρμογές που είναι

απαραίτητες για τη διατήρηση της ισορροπίας, αλλά η στήριξη της δύναμης πρέπει να είναι επαρκής για να εξουδετερώνει τυχόν πιθανές πτώσεις ή αστάθεια (Osoba et al., 2019).

Προδιαγραφές για το εύρος κίνησης και την υποστήριξη δύναμης

Το εύρος κίνησης και η υποστήριξη δύναμης που παρέχουν αυτές οι συσκευές είναι κρίσιμες προδιαγραφές που καθορίζουν την αποτελεσματικότητά τους. Το εύρος κίνησης πρέπει να προσαρμόζεται στις φυσικές κινήσεις του χρήστη, επιτρέποντας την ευελιξία και την προσαρμοστικότητα. Αυτό περιλαμβάνει τη δυνατότητα προσαρμογής σε διαφορετικές θέσεις, γωνίες και κινήσεις του σώματος, διασφαλίζοντας ότι η συσκευή μπορεί να υποστηρίξει τους χρήστες σε διάφορες δραστηριότητες.

Η υποστήριξη της δύναμης πρέπει να είναι επαρκής για να βοηθά τους χρήστες στις καθημερινές τους δραστηριότητες χωρίς να προκαλεί καταπόνηση ή δυσφορία. Αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό της απαραίτητης δύναμης για την ανύψωση, τη σταθεροποίηση ή τη μετακίνηση του χρήστη, διασφαλίζοντας ότι η συσκευή μπορεί να χειριστεί διαφορετικά βάρη και επίπεδα αντίστασης. Οι προηγμένες συσκευές μπορεί να περιλαμβάνουν ρυθμιζόμενες ρυθμίσεις δύναμης, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν το επίπεδο υποστήριξης με βάση τις ατομικές τους ανάγκες και προτιμήσεις (Osoba et al., 2019).

Προσαρμοστικότητα

Η προσαρμοστικότητα είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό των φορητών ρομποτικών συσκευών για την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων, καθώς επιτρέπει στις συσκευές αυτές να προσαρμόζονται στις μοναδικές ανάγκες κάθε χρήστη. Αυτό περιλαμβάνει την προσαρμογή στις διακυμάνσεις του μεγέθους, της δύναμης και των συγκεκριμένων περιορισμών κινητικότητας, διασφαλίζοντας ότι η συσκευή παρέχει βέλτιστη υποστήριξη και άνεση (Ramalho et al., 2024).

Προσαρμογή στις ατομικές ανάγκες

Για να ανταποκρίνονται στις ατομικές ανάγκες, οι φορητές ρομποτικές συσκευές πρέπει να σχεδιάζονται με ρυθμιζόμενα εξαρτήματα που προσαρμόζονται σε διαφορετικά μεγέθη και σχήματα σώματος. Αυτό περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως ρυθμιζόμενους ιμάντες, στηρίγματα και αρθρώσεις που μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν σε χρήστες διαφορετικού ύψους, βάρους και σωματότυπου. Για παράδειγμα, ένας εξωσκελετός μπορεί να έχει ρυθμιζόμενο μήκος ποδιών και βραχιόνων για να διασφαλίζει τη σωστή εφαρμογή για χρήστες διαφορετικού αναστήματος.

Εκτός από τη φυσική προσαρμογή, οι συσκευές θα πρέπει να προσφέρουν προσαρμόσιμες ρυθμίσεις υποστήριξης που μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να ταιριάζουν στη δύναμη και τους περιορισμούς κινητικότητας του χρήστη. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει ρυθμιζόμενα επίπεδα βοήθειας, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέγουν το ποσό υποστήριξης που χρειάζονται για συγκεκριμένες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, ένας χρήστης που αναρρώνει από χειρουργική επέμβαση στο ισχίο μπορεί αρχικά να χρειάζεται μεγαλύτερη βοήθεια στην ορθοστασία, αλλά καθώς ανακτά τη δύναμή του, μπορεί να μειώσει το επίπεδο υποστήριξης για να ενθαρρύνει τη φυσική κίνηση (Ramalho et al., 2024).

Αντιμετώπιση συγκεκριμένων περιορισμών κινητικότητας

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση συγκεκριμένων περιορισμών κινητικότητας, οι συσκευές πρέπει να είναι ικανές να αναγνωρίζουν και να προσαρμόζονται στις μοναδικές προκλήσεις του χρήστη. Αυτό περιλαμβάνει την ενσωμάτωση προηγμένης τεχνολογίας αισθητήρων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που μπορούν να αναλύουν τις κινήσεις του χρήστη και να προσαρμόζουν τις ενέργειες της συσκευής ανάλογα.

Για παράδειγμα, μια συσκευή σχεδιασμένη για χρήστες με νόσο του Πάρκινσον μπορεί να περιλαμβάνει αισθητήρες ανίχνευσης τρόμου που βοηθούν στη σταθεροποίηση των κινήσεων του χρήστη. Ομοίως, μια συσκευή για χρήστες με αρθρίτιδα μπορεί να προσφέρει ήπιες, ομαλές κινήσεις για την ελαχιστοποίηση της καταπόνησης των αρθρώσεων και του πόνου. Με την κατανόηση των συγκεκριμένων περιορισμών κάθε χρήστη, οι συσκευές αυτές μπορούν να παρέχουν στοχευμένη υποστήριξη που ενισχύει την κινητικότητα και μειώνει την ταλαιπωρία (Ramalho et al., 2024).

Προσαρμογή στις περιβαλλοντικές αλλαγές

Μια άλλη πτυχή της προσαρμοστικότητας είναι η ικανότητα της συσκευής να προσαρμόζεται σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Αυτό περιλαμβάνει την προσαρμογή σε διάφορα εδάφη, καιρικές συνθήκες και εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους. Ένας φορητός ρομποτικός περιπατητής, για παράδειγμα, μπορεί να διαθέτει τροχούς παντός εδάφους που του επιτρέπουν να κινείται σε ανώμαλες επιφάνειες ή ανώμαλο έδαφος. Εναλλακτικά, ένας εξωσκελετός μπορεί να περιλαμβάνει υλικά και εξαρτήματα ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη απόδοση σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Διεπαφή χρήστη

Η διεπαφή χρήστη μιας φορητής ρομποτικής συσκευής αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη συνολική χρηστικότητα και αποτελεσματικότητά της. Μια καλά σχεδιασμένη διεπαφή εξασφαλίζει ότι η συσκευή είναι εύκολη στη χρήση, ακόμη και για χρήστες με περιορισμένες τεχνικές δεξιότητες ή γνωστικές διαταραχές. Για τα ηλικιωμένα άτομα, η διεπαφή χρήστη πρέπει να είναι διαισθητική, προσβάσιμη και προσαρμόσιμη στις συγκεκριμένες ανάγκες και προτιμήσεις τους (Richardson et al., 2022).

Μηχανισμοί ελέγχου

Οι φορητές ρομποτικές συσκευές μπορούν να ενσωματώνουν διάφορους μηχανισμούς ελέγχου για να παρέχουν στους χρήστες πολλαπλές επιλογές αλληλεπίδρασης με τη συσκευή. Αυτοί μπορεί να περιλαμβάνουν χειροκίνητους χειρισμούς, φωνητικές εντολές και αυτόματες ρυθμίσεις, καθένας από τους οποίους προσφέρει ξεχωριστά πλεονεκτήματα και ανταποκρίνεται σε διαφορετικές προτιμήσεις των χρηστών.

Χειροκίνητοι έλεγχοι

Τα χειροκίνητα χειριστήρια είναι συχνά η πιο απλή και οικεία επιλογή για πολλούς χρήστες. Αυτά τα χειριστήρια περιλαμβάνουν συνήθως κουμπιά, διακόπτες ή επιλογείς που επιτρέπουν στους χρήστες να προσαρμόζουν τις ρυθμίσεις της συσκευής, να ενεργοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες ή να απενεργοποιούν τη συσκευή. Τα χειροκίνητα χειριστήρια θα πρέπει να σχεδιάζονται με γνώμονα την απλότητα και την προσβασιμότητα, διαθέτοντας μεγάλα, ευκρινώς επισημασμένα κουμπιά που είναι εύκολα στη χρήση, ακόμη και για άτομα με περιορισμένη επιδεξιότητα ή όραση (Richardson et al., 2022).

Φωνητικές εντολές

Οι φωνητικές εντολές προσφέρουν μια εναλλακτική λύση χωρίς χέρια για τον έλεγχο της συσκευής, επιτρέποντας στους χρήστες να τη χειρίζονται χρησιμοποιώντας προφορικές οδηγίες. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα επωφελές για άτομα με περιορισμένη κινητικότητα των χεριών ή για όσους βρίσκουν δύσκολο να χρησιμοποιήσουν τα χειροκίνητα χειριστήρια. Τα συστήματα φωνητικών εντολών θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα ώστε να αναγνωρίζουν ένα εύρος φωνητικών εισόδων, προσαρμόζοντας διαφορετικές προφορές, μοτίβα ομιλίας και γλώσσες. Επιπλέον, το σύστημα θα πρέπει να περιλαμβάνει μηχανισμούς ανατροφοδότησης που επιβεβαιώνουν την επιτυχή εκτέλεση των εντολών, παρέχοντας στους χρήστες αυτοπεποίθηση και σιγουριά (Richardson et al., 2022).

Αυτόματες ρυθμίσεις

Οι αυτόματες ρυθμίσεις επιτρέπουν στη συσκευή να λειτουργεί ανεξάρτητα, προσαρμόζοντας τις ενέργειές της με βάση τις κινήσεις και τις προτιμήσεις του χρήστη. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει λειτουργίες όπως η αυτόματη διόρθωση βάδισης, η σταθεροποίηση της ισορροπίας ή η ανίχνευση εμποδίων, οι οποίες απαιτούν ελάχιστη συμβολή του χρήστη. Οι αυτόματες ρυθμίσεις πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να συμπληρώνουν τις φυσικές κινήσεις του χρήστη, παρέχοντας υποστήριξη χωρίς να είναι παρεμβατικές ή ενοχλητικές.

Σχεδιασμός φιλικός προς το χρήστη για ηλικιωμένους

Για να διασφαλιστεί ότι η διεπαφή χρήστη είναι φιλική και προσβάσιμη για τους ηλικιωμένους ενήλικες, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφορες αρχές σχεδιασμού:

Απλότητα: Η διεπαφή θα πρέπει να είναι απλή και κατανοητή, με σαφείς οδηγίες και διαισθητικά χειριστήρια που ελαχιστοποιούν τη σύγχυση ή την απογοήτευση.

Προσβασιμότητα: Η συσκευή θα πρέπει να εξυπηρετεί χρήστες με διαφορετικά επίπεδα φυσικών και γνωστικών ικανοτήτων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με οπτικές ή ακουστικές αναπηρίες. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει χαρακτηριστικά όπως ρυθμιζόμενα μεγέθη κειμένου, ηχητικές ειδοποιήσεις και απτική ανατροφοδότηση (Sarci & Sarci, 2019).

Ανατροφοδότηση και καθοδήγηση: Η συσκευή θα πρέπει να παρέχει στους χρήστες ανατροφοδότηση και καθοδήγηση για να τους βοηθήσει στην πλοήγηση στα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες της. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει οπτικές ενδείξεις, ηχητικές προτροπές ή απτική ανατροφοδότηση που ενημερώνουν τους χρήστες για την κατάσταση της συσκευής ή τους προειδοποιούν για τυχόν απαραίτητες ενέργειες.

Εξατομίκευση: Η διεπαφή χρήστη θα πρέπει να προσφέρει επιλογές εξατομίκευσης, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν τις ρυθμίσεις και τις λειτουργίες της συσκευής στις προσωπικές τους προτιμήσεις. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ρυθμιζόμενες διατάξεις διεπαφής, προτιμώμενες ρυθμίσεις γλώσσας και προσαρμόσιμα συστήματα ελέγχου (Sarci & Sarci, 2019).

Ανθεκτικότητα και αξιοπιστία

Η ανθεκτικότητα και η αξιοπιστία είναι ουσιώδεις παράγοντες στο σχεδιασμό φορητών ρομποτικών συσκευών για την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων. Οι συσκευές αυτές πρέπει να αντέχουν στην τακτική χρήση, να παρέχουν σταθερή απόδοση και να

απαιτούν ελάχιστη συντήρηση, ώστε να διασφαλίζεται η μακροπρόθεσμη ικανοποίηση και αποτελεσματικότητα των χρηστών.

Αναμενόμενη διάρκεια ζωής

Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής μιας φορητής ρομποτικής συσκευής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ποιότητας των υλικών που χρησιμοποιούνται, της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού της και της συχνότητας χρήσης. Οι συσκευές υψηλής ποιότητας κατασκευάζονται συνήθως από ανθεκτικά υλικά, όπως ελαφρά μέταλλα, πλαστικά υψηλής αντοχής και εξαρτήματα ανθεκτικά στη διάβρωση, τα οποία μπορούν να αντέξουν τη φθορά με την πάροδο του χρόνου. Η διάρκεια ζωής αυτών των συσκευών μπορεί να κυμαίνεται από αρκετά χρόνια έως μια δεκαετία ή και περισσότερο, ανάλογα με το συγκεκριμένο μοντέλο και τις συνθήκες χρήσης (Sarci & Sarci, 2019).

Ανάγκες συντήρησης

Για να διασφαλιστεί η συνεχής απόδοση και αξιοπιστία, οι φορητές ρομποτικές συσκευές ενδέχεται να απαιτούν τακτική συντήρηση. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει επιθεωρήσεις ρουτίνας, καθαρισμό και συντήρηση των μηχανικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Οι κατασκευαστές θα πρέπει να παρέχουν στους χρήστες σαφείς οδηγίες και κατευθύνσεις συντήρησης, περιγράφοντας τυχόν απαραίτητες διαδικασίες και διαστήματα συντήρησης. Επιπλέον, οι συσκευές θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες με εξαρτήματα και συστατικά που αντικαθίστανται εύκολα, επιτρέποντας στους χρήστες ή τους τεχνικούς να εκτελούν εργασίες συντήρησης χωρίς δυσκολία (Thakur & Han, 2021).

Εγγυήσεις και υποστήριξη

Οι κατασκευαστές φορητών ρομποτικών συσκευών θα πρέπει να προσφέρουν εγγυήσεις και υπηρεσίες υποστήριξης για να παρέχουν στους χρήστες ηρεμία και διαβεβαίωση σχετικά με την αξιοπιστία της συσκευής. Οι εγγυήσεις καλύπτουν συνήθως ελαττώματα στα υλικά και την κατασκευή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, διασφαλίζοντας ότι οι χρήστες θα λάβουν αντικατάσταση ή επισκευή σε περίπτωση που προκύψουν προβλήματα. Οι υπηρεσίες υποστήριξης μπορεί να περιλαμβάνουν εξυπηρέτηση πελατών, τεχνική υποστήριξη και πρόσβαση σε διαδικτυακούς πόρους ή εγχειρίδια χρήσης (Thakur & Han, 2021).

4.2 Συζήτηση διαφορετικών μοντέλων και τύπων φορητών ρομπότ

Ο τομέας της ρομποτικής για την υποστήριξη της κινητικότητας έχει εξελιχθεί σημαντικά, προσφέροντας διάφορα μοντέλα και τύπους συσκευών που έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν άτομα με διαφορετικές ανάγκες κινητικότητας. Οι συσκευές αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε γενικές γραμμές σε πλήρεις εξωσκελετούς, συσκευές για τα κάτω άκρα και στηρίγματα για το άνω μέρος του σώματος, καθεμία από τις οποίες εξυπηρετεί διακριτούς σκοπούς και ανταποκρίνεται σε συγκεκριμένες απαιτήσεις των χρηστών (Weck & Afanassieva, 2023).

Τύποι συσκευών

1. Πλήρεις εξωσκελετοί

Οι πλήρεις εξωσκελετοί είναι φορητά ρομποτικά συστήματα που καλύπτουν τόσο το άνω όσο και το κάτω μέρος του σώματος, παρέχοντας ολοκληρωμένη υποστήριξη για ένα ευρύ φάσμα κινήσεων. Αυτές οι συσκευές έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν χρήστες με σοβαρές κινητικές διαταραχές, όπως αυτές που προκύπτουν από τραυματισμούς του νωτιαίου μυελού, εγκεφαλικά επεισόδια ή νευρολογικές διαταραχές. Οι πλήρεις εξωσκελετοί μπορούν να υποστηρίξουν την ορθοστασία, το περπάτημα, ακόμη και το κάθισμα, καθιστώντας τους ευέλικτες λύσεις για χρήστες με σημαντικούς φυσικούς περιορισμούς (Weck & Afanassieva, 2023).

Παραδείγματα:

- EksoGT: Αναπτύχθηκε από την Ekso Bionics, αυτός ο εξωσκελετός έχει σχεδιαστεί για αποκατάσταση και βοήθεια στην κινητικότητα. Προσφέρει μηχανοκίνητη κίνηση του ισχίου και του γόνατος για να βοηθήσει τους χρήστες στο περπάτημα, με ρυθμιζόμενες ρυθμίσεις για να προσαρμόζεται στις διαφορετικές ανάγκες των χρηστών και τους θεραπευτικούς στόχους.
- ReWalk: Αυτός ο εξωσκελετός παρέχει μηχανοκίνητη κίνηση του ισχίου και του γόνατος, επιτρέποντας στους παραπληγικούς χρήστες να στέκονται και να περπατούν με βοήθεια. Έχει σχεδιαστεί για χρήση τόσο σε κλινικά όσο και σε οικιακά περιβάλλοντα, προσφέροντας ενισχυμένη κινητικότητα και ανεξαρτησία.

2. Συσκευές κάτω άκρων

Οι συσκευές κάτω άκρων επικεντρώνονται στην παροχή υποστήριξης και βοήθειας στα πόδια και τους γοφούς, στοχεύοντας ειδικά στις διαταραχές κινητικότητας που σχετίζονται με το περπάτημα και την ισορροπία. Αυτές οι συσκευές είναι ιδανικές για άτομα που έχουν μερική κινητικότητα και χρειάζονται υποστήριξη για να ενισχύσουν τις ικανότητές τους στο περπάτημα ή να ανακτήσουν τη δύναμη των κάτω άκρων τους (Weck & Afanassieva, 2023).

Παραδείγματα:

- C-Brace: Αναπτύχθηκε από την Ottobock, το C-Brace είναι μια ορθωτική συσκευή που υποστηρίζει τα κάτω άκρα παρέχοντας ελεγχόμενη κίνηση του γόνατος και του αστραγάλου. Έχει σχεδιαστεί για άτομα με μυϊκή αδυναμία ή μερική παράλυση, προσφέροντας προσαρμογές σε πραγματικό χρόνο με βάση τις κινήσεις του χρήστη.
- Honda Walking Assist: Αυτή η συσκευή στοχεύει στην εκπαίδευση βάρδισης και την αποκατάσταση, χρησιμοποιώντας αισθητήρες για την παρακολούθηση του μοτίβου βάρδισης του χρήστη και την παροχή βοήθειας σε πραγματικό χρόνο. Είναι ελαφρύ και μπορεί να φορεθεί άνετα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθιστώντας το κατάλληλο για ηλικιωμένους χρήστες που υποβάλλονται σε αποκατάσταση.

3. Υποστηρίγματα άνω μέρους του σώματος

Οι συσκευές στήριξης του άνω μέρους του σώματος έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν άτομα με αναπηρία των άνω άκρων ή άτομα που χρειάζονται πρόσθετη σταθερότητα για τον κορμό τους. Αυτές οι συσκευές βοηθούν τους χρήστες να εκτελούν καθημερινές εργασίες που περιλαμβάνουν κινήσεις των χεριών και των ώμων, παρέχοντας βοήθεια στην ανύψωση, το άπλωμα ή τη σταθεροποίηση του άνω μέρους του σώματός τους (Weck & Afanassieva, 2023).

Παραδείγματα:

- HAL (Hybrid Assistive Limb) για την αποκατάσταση των άνω άκρων: Αναπτύχθηκε από την Cyberdyne, αυτή η συσκευή βοηθά στην αποκατάσταση των άνω άκρων ανιχνεύοντας τα βιοηλεκτρικά σήματα του χρήστη και παρέχοντας αντίστοιχη υποστήριξη για τις κινήσεις του βραχίονα. Χρησιμοποιείται σε κλινικά περιβάλλοντα για να βοηθήσει τους ασθενείς να ανακτήσουν τη λειτουργία και τη δύναμη του βραχίονα.
- Myomo MyoPro: Αυτός ο ηλεκτροκίνητος βραχίονας βοηθά τα άτομα με παράλυση ή αδυναμία των άνω άκρων. Υποστηρίζει την κίνηση του βραχίονα ανιχνεύοντας τα

μυϊκά σήματα του χρήστη και παρέχοντας την απαραίτητη δύναμη για να βοηθήσει σε εργασίες όπως η ανύψωση ή το πιάσιμο.

Κάθε κατηγορία συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας προσφέρει μοναδικές λειτουργίες και οφέλη, καθιστώντας τις κατάλληλες για διαφορετικές συνθήκες και προτιμήσεις των χρηστών. Η ακόλουθη συγκριτική ανάλυση υπογραμμίζει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε τύπου συσκευής, βοηθώντας να καθοριστεί ποια μοντέλα μπορεί να είναι καταλληλότερα για ορισμένες συνθήκες ή προτιμήσεις (Street et al., 2022).

Πλήρεις εξωσκελετοί

Λειτουργικότητα: Οι πλήρεις εξωσκελετοί προσφέρουν ολοκληρωμένη υποστήριξη τόσο για το άνω όσο και για το κάτω μέρος του σώματος, επιτρέποντας στους χρήστες να στέκονται, να περπατούν και να εκτελούν ένα ευρύ φάσμα κινήσεων. Συχνά είναι εξοπλισμένοι με προηγμένους αισθητήρες και ενεργοποιητές που παρέχουν ανατροφοδότηση σε πραγματικό χρόνο και προσαρμόζουν τις ενέργειες της συσκευής ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Καταλληλότητα: Αυτές οι συσκευές είναι ιδανικές για άτομα με σοβαρές κινητικές αναπηρίες, όπως άτομα με τραυματισμούς του νωτιαίου μυελού ή προχωρημένες νευρομυϊκές διαταραχές. Χρησιμοποιούνται συχνά σε περιβάλλοντα αποκατάστασης για να βοηθήσουν τους ασθενείς να ανακτήσουν την κινητικότητα και να βελτιώσουν τις σωματικές τους ικανότητες.

Απόδοση: Οι πλήρεις εξωσκελετοί είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην παροχή βοήθειας για την κινητικότητα, αλλά μπορεί να είναι ογκώδεις και ακριβοί. Η προηγμένη τεχνολογία τους απαιτεί προσεκτική προσαρμογή και επίβλεψη, ιδίως κατά την αρχική χρήση.

Περιορισμοί: Οι κύριοι περιορισμοί των πλήρων εξωσκελετών περιλαμβάνουν το βάρος τους, το κόστος και την ανάγκη επαγγελματικής εκπαίδευσης για την αποτελεσματική χρήση τους. Μπορεί να μην είναι κατάλληλοι για χρήστες που αναζητούν ελαφριές και προσιτές λύσεις για τις καθημερινές ανάγκες κινητικότητας (Street et al., 2022).

Συσκευές κάτω άκρων

Λειτουργικότητα: Οι συσκευές κάτω άκρων επικεντρώνονται στην παροχή στοχευμένης υποστήριξης στα πόδια και τους γοφούς, βοηθώντας στη βάρδιση και την ισορροπία. Συχνά περιλαμβάνουν αισθητήρες που παρακολουθούν τα μοτίβα βάρδισης και ρυθμίζουν το επίπεδο βοήθειας ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

Καταλληλότητα: Αυτές οι συσκευές είναι κατάλληλες για άτομα με μερική κινητικότητα, όπως άτομα που αναρρώνουν από χειρουργική επέμβαση ή αντιμετωπίζουν μυϊκή αδυναμία. Χρησιμοποιούνται συχνά σε περιβάλλοντα αποκατάστασης για να βοηθήσουν τους χρήστες να ανακτήσουν τη δύναμή τους και να βελτιώσουν τις ικανότητές τους στο περπάτημα (Street et al., 2022).

Επιδόσεις: Οι συσκευές κάτω άκρων είναι γενικά ελαφριές και πιο προσιτές από τους πλήρεις εξωσκελετούς, καθιστώντας τις προσιτές σε ευρύτερο φάσμα χρηστών. Παρέχουν αποτελεσματική υποστήριξη για τη βάρδιση και την ισορροπία, ενισχύοντας την αυτοπεποίθηση και την ανεξαρτησία του χρήστη.

Περιορισμοί: Παρόλο που οι συσκευές κάτω άκρων είναι αποτελεσματικές για την υποβοήθηση της βάρδισης, ενδέχεται να μην παρέχουν την ολοκληρωμένη υποστήριξη που χρειάζονται τα άτομα με βλάβες στο άνω μέρος του σώματος. Είναι καταλληλότερες για χρήστες με συγκεκριμένες προκλήσεις κινητικότητας των κάτω άκρων.

Υποστηρίξεις άνω μέρους σώματος

Λειτουργικότητα: Οι συσκευές υποστήριξης του άνω μέρους του σώματος βοηθούν στις κινήσεις των χεριών και των ώμων, βοηθώντας τους χρήστες να εκτελούν εργασίες που περιλαμβάνουν ανύψωση, προσέγγιση ή σταθεροποίηση του άνω μέρους του σώματος. Συχνά περιλαμβάνουν αισθητήρες που ανιχνεύουν μυϊκά σήματα και παρέχουν αντίστοιχη υποστήριξη (Zhu & Zhang, 2021).

Καταλληλότητα: Αυτές οι συσκευές είναι ιδανικές για άτομα με αναπηρίες στα άνω άκρα ή για άτομα που χρειάζονται πρόσθετη σταθερότητα για τον κορμό τους. Χρησιμοποιούνται συχνά σε περιβάλλοντα αποκατάστασης για να βοηθήσουν τους ασθενείς να ανακτήσουν τη λειτουργία και τη δύναμη του βραχίονα.

Επιδόσεις: Οι συσκευές υποστήριξης του άνω μέρους του σώματος είναι συνήθως ελαφριές και εύκολες στη χρήση, γεγονός που τις καθιστά κατάλληλες για άτομα που αναζητούν βοήθεια σε συγκεκριμένες εργασίες των άνω άκρων. Παρέχουν αποτελεσματική υποστήριξη για τις καθημερινές δραστηριότητες, ενισχύοντας την ικανότητα του χρήστη να εκτελεί εργασίες ανεξάρτητα.

Περιορισμοί: Αυτές οι συσκευές περιορίζονται στην υποστήριξη του άνω μέρους του σώματος και ενδέχεται να μην αντιμετωπίζουν τις προκλήσεις κινητικότητας των κάτω

άκρων. Είναι καταλληλότερες για χρήστες με συγκεκριμένες βλάβες στα άνω άκρα (Zhu & Zhang, 2021).

Καινοτομίες

Οι πρόσφατες καινοτομίες στον σχεδιασμό και την τεχνολογία των κινητών ρομπότ για την υποστήριξη της κινητικότητας έχουν βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα, τη χρηστικότητα και την προσβασιμότητά τους. Οι καινοτομίες αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την υποβοήθηση των ηλικιωμένων, παρέχοντάς τους βελτιωμένες λύσεις κινητικότητας που ανταποκρίνονται στις μοναδικές τους ανάγκες.

1. Προηγμένα υλικά

Η ανάπτυξη προηγμένων υλικών, όπως τα ελαφριά μέταλλα και τα σύνθετα υλικά υψηλής αντοχής, έχει οδηγήσει στη δημιουργία πιο άνετων και ανθεκτικών συσκευών υποβοήθησης της κινητικότητας. Τα υλικά αυτά μειώνουν το συνολικό βάρος των συσκευών, καθιστώντας τις πιο εύχρηστες και εύχρηστες. Για παράδειγμα, τα σύνθετα υλικά από ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται σε εξωσκελετούς και ορθωτικές συσκευές για να παρέχουν αντοχή και ευελιξία χωρίς να προσθέτουν σημαντικό βάρος (Zhu & Zhang, 2021).

2. Έξυπνοι αισθητήρες και ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης

Η ενσωμάτωση έξυπνων αισθητήρων και τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) έχει βελτιώσει τις δυνατότητες των συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας, επιτρέποντάς τους να παρέχουν πιο εξατομικευμένη και προσαρμοστική υποστήριξη. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν τις κινήσεις του χρήστη, να ανιχνεύουν αλλαγές στα πρότυπα βάδισης και να προσαρμόζουν τις ενέργειες της συσκευής σε πραγματικό χρόνο. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύουν τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες για να βελτιστοποιούν την απόδοση της συσκευής και να προσαρμόζονται στις εξελισσόμενες ανάγκες του χρήστη (Hartmann et al., 2023).

3. Διεπαφές φιλικές προς τον χρήστη

Οι καινοτομίες στον σχεδιασμό διεπαφών χρήστη έχουν καταστήσει τις συσκευές υποβοήθησης της κινητικότητας πιο προσιτές και φιλικές προς τον χρήστη, ιδίως για τους ηλικιωμένους. Οι συσκευές διαθέτουν πλέον διαισθητικά χειριστήρια, όπως οθόνες αφής, φωνητικές εντολές και αναγνώριση χειρονομιών, επιτρέποντας στους χρήστες να αλληλεπιδρούν εύκολα με τη συσκευή και να προσαρμόζουν τις ρυθμίσεις σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Αυτές οι διεπαφές έχουν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν χρήστες με

περιορισμένες τεχνικές δεξιότητες, διασφαλίζοντας ότι οι συσκευές είναι προσβάσιμες σε ένα ευρύτερο φάσμα ατόμων.

4. Προσαρμογή και εξατομίκευση

Οι εξελίξεις στην προσαρμογή και την εξατομίκευση έχουν επιτρέψει στις συσκευές υποστήριξης της κινητικότητας να προσαρμόζονται στις συγκεκριμένες ανάγκες κάθε χρήστη. Οι συσκευές μπορούν πλέον να προσαρμόζονται ώστε να ταιριάζουν σε διαφορετικά μεγέθη σώματος, σχήματα και απαιτήσεις κινητικότητας, εξασφαλίζοντας βέλτιστη άνεση και υποστήριξη. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να εξατομικεύουν τις ρυθμίσεις της συσκευής, όπως τα επίπεδα βοήθειας και οι λειτουργίες κίνησης, ώστε να ανταποκρίνονται στις ατομικές τους προτιμήσεις και στόχους (Hartmann et al., 2023).

4.3 Ζητήματα σχετικά με την ασφάλεια, την άνεση και την ευκολία χρήσης

Οι συσκευές υποβοήθησης της κινητικότητας, όπως οι ρομποτικοί εξωσκελετοί, τα ορθωτικά και τα συστήματα υποστήριξης, έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των ατόμων με προβλήματα κινητικότητας, ιδίως των ηλικιωμένων. Καθώς αυτές οι συσκευές γίνονται όλο και πιο προηγμένες και χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι ζωτικής σημασίας να αντιμετωπιστούν ζητήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια, την άνεση και την ευκολία χρήσης, ώστε να διασφαλιστεί ότι είναι αποτελεσματικές, φιλικές προς τον χρήστη και προσβάσιμες. Η συζήτηση αυτή θα διερευνήσει τα χαρακτηριστικά ασφαλείας, τα ζητήματα άνεσης και την ευκολία χρήσης των συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας, καθώς και τη συμμόρφωση με τις κανονιστικές διατάξεις για τη διασφάλιση των υψηλότερων προτύπων ποιότητας και αξιοπιστίας (Huisman & Kort, 2019).

Χαρακτηριστικά ασφαλείας

Η ασφάλεια αποτελεί πρωταρχικό μέλημα κατά το σχεδιασμό και την εφαρμογή των συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας. Οι συσκευές αυτές πρέπει να είναι εξοπλισμένες με ισχυρά χαρακτηριστικά ασφαλείας για την προστασία των χρηστών, ιδίως των ηλικιωμένων ατόμων που ενδέχεται να διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο πτώσεων και τραυματισμών. Τα βασικά χαρακτηριστικά ασφαλείας περιλαμβάνουν ανίχνευση πτώσης, κουμπιά διακοπής έκτακτης ανάγκης και σταθερές δομές στήριξης.

1. Ανίχνευση πτώσης

Η τεχνολογία ανίχνευσης πτώσης αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό ασφαλείας στις συσκευές υποστήριξης της κινητικότητας. Περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων και αλγορίθμων για την παρακολούθηση των κινήσεων του χρήστη και την ανίχνευση τυχόν ξαφνικών ή μη φυσιολογικών αλλαγών στην κίνηση που μπορεί να υποδηλώνουν πτώση. Όταν ανιχνεύεται μια πιθανή πτώση, η συσκευή μπορεί να λάβει προληπτικά μέτρα, όπως η σταθεροποίηση του χρήστη, η ενεργοποίηση μηχανισμών υποστήριξης έκτακτης ανάγκης ή η ειδοποίηση των φροντιστών (Huisman & Kort, 2019).

Τα συστήματα ανίχνευσης πτώσης χρησιμοποιούν συνήθως έναν συνδυασμό επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων και αισθητήρων πίεσης για τη συνεχή παρακολούθηση της ισορροπίας και της στάσης του χρήστη. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να εντοπίσουν αποκλίσεις από τα κανονικά πρότυπα κίνησης και να ενεργοποιήσουν μια αυτόματη αντίδραση για την πρόληψη των πτώσεων ή την ελαχιστοποίηση των τραυματισμών.

2. Κουμπιά διακοπής έκτακτης ανάγκης

Τα κουμπιά διακοπής έκτακτης ανάγκης είναι κρίσιμα χαρακτηριστικά ασφαλείας που επιτρέπουν στους χρήστες να σταματήσουν αμέσως τη λειτουργία της συσκευής σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή δυσλειτουργίας. Τα κουμπιά αυτά είναι στρατηγικά τοποθετημένα σε κοντινή απόσταση από τον χρήστη, δίνοντάς του τη δυνατότητα να σταματήσει γρήγορα τη συσκευή εάν νιώσει ανασφάλεια ή αισθανθεί δυσφορία.

Η λειτουργία διακοπής έκτακτης ανάγκης έχει σχεδιαστεί για να υπερισχύει όλων των άλλων εντολών, διασφαλίζοντας ότι η συσκευή παύει αμέσως τη λειτουργία της. Αυτή η λειτουργία παρέχει στους χρήστες μια αίσθηση ελέγχου και ασφάλειας, επιτρέποντάς τους να σταματήσουν με ασφάλεια τη συσκευή σε περίπτωση απροσδόκητων προβλημάτων (Huisman & Kort, 2019).

3. Σταθερές δομές στήριξης

Οι σταθερές δομές στήριξης, όπως τα σταθεροποιητικά πλαίσια ή οι ιμάντες, παρέχουν πρόσθετη ασφάλεια διασφαλίζοντας ότι η συσκευή παραμένει σταθερά συνδεδεμένη με τον χρήστη. Αυτές οι δομές βοηθούν στην ομοιόμορφη κατανομή του βάρους, μειώνουν τον κίνδυνο ολίσθησης ή λανθασμένης ευθυγράμμισης και προσφέρουν στήριξη κατά τη διάρκεια της κίνησης.

Οι δομές στήριξης είναι συχνά ρυθμιζόμενες ώστε να προσαρμόζονται σε διαφορετικά μεγέθη και σχήματα σώματος, εξασφαλίζοντας ασφαλή εφαρμογή για κάθε χρήστη. Έχουν

σχεδιαστεί για να είναι ανθεκτικές και αξιόπιστες, παρέχοντας στους χρήστες τη σταθερότητα και την αυτοπεποίθηση που χρειάζονται για να κινούνται με ασφάλεια (Huisman & Kort, 2019).

Αντιμετώπιση κινδύνων για ηλικιωμένους χρήστες

Τα χαρακτηριστικά ασφαλείας των βοηθητικών συσκευών κινητικότητας είναι ειδικά σχεδιασμένα για την αντιμετώπιση των μοναδικών κινδύνων που αντιμετωπίζουν οι ηλικιωμένοι χρήστες. Οι ηλικιωμένοι ενδέχεται να αντιμετωπίζουν προβλήματα ισορροπίας, μειωμένη δύναμη και βραδύτερους χρόνους αντίδρασης, καθιστώντας τους πιο επιρρεπείς σε πτώσεις και τραυματισμούς. Με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών ασφαλείας, οι συσκευές αυτές μπορούν να μετριάσουν αυτούς τους κινδύνους και να παρέχουν μια ασφαλέστερη, πιο ασφαλή εμπειρία για τους ηλικιωμένους χρήστες. Χαρακτηριστικά όπως η ανίχνευση πτώσης και τα κουμπιά διακοπής έκτακτης ανάγκης δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες να αναλάβουν τον έλεγχο της ασφάλειάς τους, ενώ οι σταθερές δομές στήριξης προσφέρουν πρόσθετη σταθερότητα και υποστήριξη (Kim et al., 2021).

Άνεση

Η άνεση αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στο σχεδιασμό των συσκευών υποβοήθησης της κινητικότητας, καθώς οι χρήστες συχνά φορούν αυτές τις συσκευές για παρατεταμένες περιόδους. Οι σχεδιαστές πρέπει να διασφαλίζουν ότι οι συσκευές είναι άνετες, καλά προσαρμοσμένες και προσαρμόζονται σε ένα ευρύ φάσμα σωματότυπων για να μεγιστοποιήσουν τη φορεσιμότητα και την ικανοποίηση των χρηστών.

1. Μακροπρόθεσμη φορητότητα

Για τη βελτίωση της μακροπρόθεσμης φορητότητας, οι συσκευές υποστήριξης της κινητικότητας σχεδιάζονται με εργονομικά κριτήρια, διασφαλίζοντας ότι είναι άνετες για εκτεταμένη χρήση. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή υλικών που είναι ελαφριά, αναπνέουν και δεν ερεθίζουν το δέρμα. Για παράδειγμα, οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιούν επένδυση από μαλακά, υποαλλεργικά υλικά για τη μείωση των σημείων πίεσης και την αποφυγή δυσφορίας.

2. Κατανομή βάρους

Η σωστή κατανομή του βάρους είναι απαραίτητη για την αποφυγή της κόπωσης και της καταπόνησης του σώματος του χρήστη. Οι σχεδιαστές εστιάζουν στην ομοιόμορφη κατανομή του βάρους της συσκευής σε όλο το σώμα του χρήστη, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις σε

συγκεκριμένες περιοχές, όπως οι ώμοι ή το κάτω μέρος της πλάτης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της στρατηγικής τοποθέτησης των εξαρτημάτων και της χρήσης ισορροπημένων δομών που ευθυγραμμίζονται με τη φυσική στάση του χρήστη (Kim et al., 2021).

3. Διασπορά θερμότητας

Η απαγωγή θερμότητας είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για τη διασφάλιση της άνεσης, ιδίως για συσκευές που φοριούνται για παρατεταμένες περιόδους. Οι συσκευές είναι εξοπλισμένες με συστήματα εξαερισμού ή αναπνεύσιμα υλικά που επιτρέπουν τη διαφυγή της θερμότητας, αποτρέποντας την υπερθέρμανση και τη δυσφορία. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τους χρήστες σε θερμά κλίματα ή για όσους έχουν παθήσεις που επηρεάζουν τη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

4. Προσαρμοστικότητα σε διαφορετικούς τύπους σώματος

Για την προσαρμογή σε διαφορετικούς σωματότυπους, οι συσκευές υποβοήθησης της κινητικότητας σχεδιάζονται με ρυθμιζόμενα εξαρτήματα που μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να ταιριάζουν στο μοναδικό σχήμα και μέγεθος του κάθε χρήστη. Αυτό περιλαμβάνει ρυθμιζόμενους ιμάντες, στηρίγματα και αρθρώσεις που επιτρέπουν εξατομικευμένη εφαρμογή. Παρέχοντας επιλογές προσαρμογής, οι σχεδιαστές διασφαλίζουν ότι η συσκευή μπορεί να υποστηρίξει άνετα χρήστες διαφορετικού ύψους, βάρους και σωματότυπου (Kim et al., 2021).

Ευκολία χρήσης

Η ευκολία χρήσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την υιοθέτηση και την αποτελεσματικότητα των συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας. Οι σχεδιαστές πρέπει να εξετάζουν την καμπύλη εκμάθησης που σχετίζεται με κάθε συσκευή και να εργάζονται ώστε να είναι διαισθητική για χρήστες όλων των ηλικιών και ικανοτήτων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με περιορισμένο τεχνολογικό αλφαριθμητικό ή σωματικές ικανότητες.

1. Καμπύλη μάθησης

Η καμπύλη εκμάθησης για τις συσκευές υποβοήθησης της κινητικότητας μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την πολυπλοκότητα της συσκευής και την εξοικείωση του χρήστη με την τεχνολογία. Για την ελαχιστοποίηση της καμπύλης εκμάθησης, οι σχεδιαστές επικεντρώνονται στη δημιουργία διαισθητικών διεπαφών και στην παροχή σαφών οδηγιών και καθοδήγησης (Kim et al., 2021).

Για παράδειγμα, οι συσκευές μπορεί να διαθέτουν φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές με απλά χειριστήρια και εύληπτες οδηγίες. Μπορούν να προσφέρονται εκπαιδευτικές συνεδρίες ή σεμινάρια για να βοηθηθούν οι χρήστες να εξοικειωθούν με τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες της συσκευής, διασφαλίζοντας ότι μπορούν να τη χειριστούν με αυτοπεποίθηση και αποτελεσματικότητα.

2. Διαισθητικός σχεδιασμός για ηλικιωμένους χρήστες

Οι σχεδιαστές δίνουν προτεραιότητα σε διαισθητικά στοιχεία σχεδιασμού για να καταστήσουν τις συσκευές υποβοήθησης της κινητικότητας προσβάσιμες σε χρήστες μεγαλύτερης ηλικίας. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση μεγάλων, σαφώς επισημασμένων κουμπιών, οπτικών ενδείξεων και ακουστικών προτροπών για την καθοδήγηση των χρηστών κατά τη λειτουργία της συσκευής. Μπορούν επίσης να ενσωματωθούν φωνητικές εντολές ή χειρισμοί με χειρονομίες για την παροχή εναλλακτικών μεθόδων αλληλεπίδρασης, ιδίως για χρήστες με περιορισμένη χειροκίνητη επιδεξιότητα (Lee & Naguib, 2020).

3. Αντιμετώπιση του τεχνολογικού αλφαριθμητισμού και των φυσικών ικανοτήτων

Για να εξυπηρετήσουν χρήστες με διαφορετικό βαθμό τεχνολογικού αλφαριθμητισμού και φυσικών ικανοτήτων, οι σχεδιαστές προσπαθούν να δημιουργήσουν συσκευές που είναι απλές και εύκολες στη χρήση. Αυτό περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση του αριθμού των βημάτων που απαιτούνται για τη λειτουργία της συσκευής και την παροχή πολλαπλών επιλογών για προσαρμογή και εξατομίκευση.

Οι συσκευές μπορούν να προσφέρουν ρυθμιζόμενες ρυθμίσεις που επιτρέπουν στους χρήστες να προσαρμόζουν την απόδοση της συσκευής στις συγκεκριμένες ανάγκες και προτιμήσεις τους. Για τους χρήστες με φυσικούς περιορισμούς, χαρακτηριστικά όπως οι αυτόματες ρυθμίσεις ή η λειτουργία χωρίς χέρια μπορούν να ενισχύσουν την ευκολία χρήσης και την προσβασιμότητα (Lee & Naguib, 2020).

Κανονιστική συμμόρφωση

Οι συσκευές υποβοήθησης κινητικότητας πρέπει να τηρούν αυστηρά ιατρικά πρότυπα και πρότυπα ασφαλείας, ώστε να διασφαλίζεται ότι είναι ασφαλείς και αποτελεσματικές για χρήση από άτομα με προβλήματα κινητικότητας. Η συμμόρφωση με αυτά τα πρότυπα είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της υψηλότερης ποιότητας και αξιοπιστίας των συσκευών.

1. Ιατρικά πρότυπα

Οι συσκευές υποβοήθησης της κινητικότητας συχνά ταξινομούνται ως ιατρικές συσκευές, γεγονός που απαιτεί την τήρηση συγκεκριμένων προτύπων που έχουν καθοριστεί από ρυθμιστικούς φορείς, όπως ο Αμερικανικός Οργανισμός Τροφίμων και Φαρμάκων (FDA) ή ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Φαρμάκων (EMA). Τα πρότυπα αυτά διασφαλίζουν ότι οι συσκευές είναι ασφαλείς για χρήση και αποδίδουν όπως προβλέπεται.

Η συμμόρφωση με τα ιατρικά πρότυπα περιλαμβάνει αυστηρές δοκιμές και αξιολόγηση για την αξιολόγηση της ασφάλειας, της αποτελεσματικότητας και της διάρκειας ζωής της συσκευής. Οι κατασκευαστές πρέπει να παρέχουν τεκμηρίωση και αποδεικτικά στοιχεία συμμόρφωσης, αποδεικνύοντας ότι η συσκευή πληροί όλες τις απαραίτητες απαιτήσεις (Lee & Naguib, 2020).

2. Πρότυπα ασφαλείας

Εκτός από τα ιατρικά πρότυπα, οι συσκευές υποστήριξης της κινητικότητας πρέπει να συμμορφώνονται με τα πρότυπα ασφαλείας που έχουν θεσπιστεί από οργανισμούς όπως ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) ή το Αμερικανικό Ινστιτούτο Εθνικών Προτύπων (ANSI). Τα πρότυπα αυτά αφορούν διάφορες πτυχές της ασφάλειας των συσκευών, συμπεριλαμβανομένης της ηλεκτρικής ασφάλειας, της μηχανικής ασφάλειας και των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Οι κατασκευαστές υποχρεούνται να διενεργούν ενδελεχείς εκτιμήσεις κινδύνου και να εφαρμόζουν μέτρα ασφαλείας για τον μετριασμό των πιθανών κινδύνων. Η συμμόρφωση με τα πρότυπα ασφαλείας επαληθεύεται μέσω διαδικασιών δοκιμών και πιστοποίησης, διασφαλίζοντας ότι οι συσκευές πληρούν τα υψηλότερα επίπεδα ασφαλείας και επιδόσεων (Lee & Naguib, 2020).

3. Διασφάλιση της συμμόρφωσης

Για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τα ιατρικά πρότυπα και τα πρότυπα ασφαλείας, οι κατασκευαστές πρέπει να καθιερώσουν ισχυρά συστήματα διαχείρισης ποιότητας και να τηρούν τις βέλτιστες πρακτικές του κλάδου. Αυτό περιλαμβάνει τακτικούς ελέγχους, επιθεωρήσεις και διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου για την παρακολούθηση και τη διατήρηση της ποιότητας και της ασφάλειας της συσκευής καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής της.

Οι κατασκευαστές μπορούν επίσης να συνεργάζονται με ρυθμιστικούς φορείς και εμπειρογνώμονες του κλάδου για να ενημερώνονται για τα πιο πρόσφατα πρότυπα και απαιτήσεις. Δίνοντας προτεραιότητα στη συμμόρφωση με τις κανονιστικές διατάξεις, οι

κατασκευαστές μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι συσκευές τους είναι ασφαλείς, αποτελεσματικές και αξιόπιστες για τους χρήστες (Lee & Naguib, 2020).

5 Προκλήσεις και περιορισμοί

5.1 Τεχνικές προκλήσεις στο σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα

Πολυπλοκότητα σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός φορητών ρομποτικών συσκευών περιλαμβάνει την ενσωμάτωση διαφόρων πολύπλοκων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, ενεργοποιητών και συστημάτων ελέγχου, για τη δημιουργία μιας λειτουργικής και ασφαλούς συσκευής. Μία από τις πρωταρχικές πολυπλοκότητες είναι η διασφάλιση της απρόσκοπτης ενσωμάτωσης αυτών των στοιχείων για την παροχή αξιόπιστης και αποτελεσματικής υποστήριξης. Οι αισθητήρες πρέπει να ανιχνεύουν και να ερμηνεύουν με ακρίβεια τις κινήσεις του χρήστη, ενώ οι ενεργοποιητές πρέπει να παρέχουν ακριβή και ευέλικτη βοήθεια. Τα συστήματα ελέγχου πρέπει να επεξεργάζονται τα δεδομένα από τους αισθητήρες και να προσαρμόζουν τις λειτουργίες της συσκευής σε πραγματικό χρόνο ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του χρήστη (Hamid et al., 2023).

Η επίτευξη αυτής της ολοκλήρωσης απαιτεί εξελιγμένη μηχανική για να διασφαλιστεί ότι όλα τα εξαρτήματα λειτουργούν αρμονικά. Η πρόκληση έγκειται στην εξισορρόπηση των επιδόσεων αυτών των τεχνολογιών με τη χρηστικότητα και την ασφάλεια της συσκευής. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες πρέπει να είναι βαθμονομημένοι ώστε να ανιχνεύουν λεπτές κινήσεις χωρίς να δημιουργούν ψευδώς θετικά αποτελέσματα και οι ενεργοποιητές πρέπει να παρέχουν την κατάλληλη δύναμη χωρίς να προκαλούν δυσφορία ή υπερπροσπάθεια.

Ισχύς και αποδοτικότητα

Η διαχείριση της ισχύος αποτελεί κρίσιμη πρόκληση για τις φορητές ρομποτικές συσκευές. Αυτές οι συσκευές απαιτούν συχνά σημαντική ενέργεια για τη λειτουργία των ενεργοποιητών και των αισθητήρων, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τη συνολική αποδοτικότητα. Η εξισορρόπηση της κατανάλωσης ενέργειας με το μέγεθος και το βάρος της συσκευής αποτελεί σημαντική πρόκληση. Οι μεγαλύτερες μπαταρίες μπορούν να παρατείνουν το χρόνο λειτουργίας, αλλά προσθέτουν βάρος, το οποίο μπορεί να μειώσει την άνεση και τη χρηστικότητα της συσκευής (Hamid et al., 2023).

Οι προγραμματιστές πρέπει να βελτιστοποιήσουν την ενεργειακή απόδοση χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες μπαταριών και αλγορίθμους εξοικονόμησης ενέργειας. Οι καινοτομίες στην αποθήκευση ενέργειας, όπως οι συμπαγείς μπαταρίες υψηλής

χωρητικότητα ή οι τεχνικές συλλογής ενέργειας, θα μπορούσαν να ανακουφίσουν ορισμένα από αυτά τα ζητήματα. Επιπλέον, ο σχεδιασμός εξαρτημάτων με αποδοτική κατανάλωση ενέργειας και η ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απαιτήσεων των ενεργοποιητών και των αισθητήρων μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων (Hamid et al., 2023).

Ανθεκτικότητα και συντήρηση

Η διασφάλιση της ανθεκτικότητας και της ευκολίας συντήρησης είναι απαραίτητη για τις φορητές ρομποτικές συσκευές, ιδίως αν ληφθεί υπόψη ότι προορίζονται για καθημερινή χρήση. Οι συσκευές πρέπει να αντέχουν στην τακτική φθορά, διατηρώντας παράλληλα αξιόπιστη απόδοση. Αυτό απαιτεί τη χρήση ανθεκτικών υλικών και τεχνικών κατασκευής που μπορούν να αντέξουν τις φυσικές καταπονήσεις και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Η συντήρηση και η επισκευή είναι επίσης ζωτικής σημασίας, ιδίως για τους ηλικιωμένους χρήστες ή τους φροντιστές τους, οι οποίοι ενδέχεται να μην διαθέτουν τεχνική εμπειρία. Ο σχεδιασμός συσκευών για εύκολη συντήρηση, όπως αρθρωτά εξαρτήματα που μπορούν να αντικατασταθούν ή να συντηρηθούν χωρίς εξειδικευμένα εργαλεία, είναι σημαντικός. Οι σαφείς οδηγίες και οι προσβάσιμοι πόροι υποστήριξης μπορούν επίσης να βοηθήσουν τους χρήστες να διαχειριστούν αποτελεσματικά τις μικροεπισκευές και τις εργασίες συντήρησης (Hamid et al., 2023).

5.2 Περιορισμοί στην τρέχουσα τεχνολογία και δυνητικοί τομείς για μελλοντική έρευνα

Διάφοροι τεχνολογικοί περιορισμοί εμποδίζουν επί του παρόντος την αποτελεσματικότητα, την οικονομική προσιτότητα και τη φιλικότητα προς το χρήστη των φορητών ρομποτικών συσκευών. Ένα σημαντικό εμπόδιο είναι η ακρίβεια των αισθητήρων. Οι υπάρχοντες αισθητήρες μπορεί να δυσκολεύονται με την ακρίβεια στην ανίχνευση λεπτών κινήσεων ή στη διαφοροποίηση μεταξύ σκόπιμων ενεργειών και ακούσιων κινήσεων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αναξιόπιστη απόδοση της συσκευής και μειωμένη εμπιστοσύνη του χρήστη (Fritz et al., 2020).

Η απόκριση του ενεργοποιητή είναι ένας άλλος περιορισμός. Ενώ οι σημερινοί ενεργοποιητές μπορούν να παρέχουν την απαραίτητη υποστήριξη, μπορεί να μην έχουν την ομαλότητα και την απόκριση που απαιτείται για φυσική κίνηση. Οι περιορισμοί του υλικού, όπως η

περιορισμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και τα ογκώδη εξαρτήματα, επηρεάζουν επίσης τη συνολική χρηστικότητα και αποδοχή αυτών των συσκευών.

Περιοχές για μελλοντική έρευνα

Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην υπέρβαση αυτών των περιορισμών μέσω εξελίξεων σε διάφορους τομείς. Βελτιωμένες τεχνολογίες αισθητήρων, όπως πιο ευαίσθητοι και ακριβείς ανιχνευτές κίνησης ή προηγμένοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την ερμηνεία των δεδομένων, θα μπορούσαν να βελτιώσουν την απόδοση της συσκευής. Η έρευνα για πιο αποδοτικούς και συμπαγείς ενεργοποιητές θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο ομαλή και πιο φυσική υποστήριξη της κίνησης.

Επιπλέον, η διερεύνηση νέων υλικών και τεχνικών κατασκευής μπορεί να μειώσει το μέγεθος και το βάρος της συσκευής, βελτιώνοντας παράλληλα την ανθεκτικότητα. Οι καινοτομίες στην αποθήκευση και διαχείριση ενέργειας θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με την ενέργεια, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της συσκευής (Fritz et al., 2020).

Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως τα φορητά ηλεκτρονικά και τα προηγμένα υλικά, όπως οι εύκαμπτοι αισθητήρες και τα προσαρμοστικά υφάσματα, υπόσχονται μελλοντικά σχέδια συσκευών. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο άνετες, αποδοτικές και αποτελεσματικές συσκευές υποστήριξης της κινητικότητας.

Αναδυόμενες τεχνολογίες

Οι αναδυόμενες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των εξελίξεων στην τεχνητή νοημοσύνη (AI) και τη μηχανική μάθηση, έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν σημαντικά τις φορητές ρομποτικές συσκευές. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να επιτρέψει πιο εξελιγμένη ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας στις συσκευές να προσαρμόζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια στις ατομικές ανάγκες των χρηστών. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι με βάση την TN θα μπορούσαν να βελτιώσουν την ανάλυση βάδισης και να προσαρμόσουν δυναμικά την υποστήριξη με βάση τα μοτίβα κίνησης του χρήστη (Fritz et al., 2020).

Στην επιστήμη των υλικών, οι εξελίξεις στα ελαφριά, εύκαμπτα και ανθεκτικά υλικά μπορούν να καταστήσουν τις συσκευές πιο άνετες και λιγότερο ενοχλητικές. Για παράδειγμα, τα έξυπνα υφάσματα που ενσωματώνουν αισθητήρες και ενεργοποιητές θα μπορούσαν να παρέχουν μια πιο απρόσκοπτη και ολοκληρωμένη εμπειρία χρήστη. Επιπλέον, οι καινοτομίες στις τεχνολογίες συγκομιδής ενέργειας, όπως η χρήση κινητικής ενέργειας από την κίνηση

του χρήστη για την επαναφόρτιση των μπαταριών, θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις της διαχείρισης ενέργειας (Fritz et al., 2020).

5.3 Κοινωνικά και ατομικά εμπόδια στην υιοθέτηση

Κόστος και προσβασιμότητα

Το κόστος παραμένει σημαντικό εμπόδιο για την ευρεία υιοθέτηση των φορητών ρομποτικών συσκευών. Οι συσκευές αυτές είναι συχνά ακριβές λόγω των προηγμένων τεχνολογιών και υλικών που εμπλέκονται στην ανάπτυξή τους. Για πολλούς ηλικιωμένους ενήλικες, ιδίως για όσους έχουν σταθερό εισόδημα, το κόστος αυτών των συσκευών μπορεί να είναι απαγορευτικό. Επιπλέον, η ασφαλιστική κάλυψη για τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι περιορισμένη, περιορίζοντας περαιτέρω την πρόσβαση.

Οι προσπάθειες για τη βελτίωση της οικονομικής προσιτότητας περιλαμβάνουν τη διερεύνηση οικονομικά αποδοτικών διαδικασιών κατασκευής, την αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των παρόχων συσκευών και την αναζήτηση επιδοτήσεων ή προγραμμάτων οικονομικής βοήθειας για να καταστούν οι συσκευές πιο προσιτές σε όσους έχουν ανάγκη (Gabbi et al., 2024).

Στίγμα και πολιτισμικές στάσεις

Το στίγμα και οι πολιτισμικές στάσεις απέναντι στην αναπηρία και την τεχνολογία μπορούν να επηρεάσουν την υιοθέτηση συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας. Σε ορισμένες κουλτούρες, μπορεί να υπάρχει απροθυμία στη χρήση τεχνολογιών υποστήριξης λόγω της αντίληψης της αδυναμίας ή της εξάρτησης. Η υπερπήδηση αυτών των πολιτισμικών εμποδίων απαιτεί αυξημένη ευαισθητοποίηση και εκπαίδευση σχετικά με τα οφέλη των βοηθητικών συσκευών κινητικότητας και την προώθηση θετικών στάσεων απέναντι στη χρήση τους.

Οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού και οι προσπάθειες υπεράσπισης μπορούν να συμβάλουν στην αλλαγή των αντιλήψεων και στη μείωση του στίγματος, καθιστώντας πιο αποδεκτό για τους ηλικιωμένους να αναζητούν και να χρησιμοποιούν αυτές τις τεχνολογίες (Gabbi et al., 2024).

Εκπαίδευση και προσαρμογή των χρηστών

Οι προκλήσεις της εκπαίδευσης και της προσαρμογής αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την υιοθέτηση των συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας. Οι χρήστες, ιδίως οι ηλικιωμένοι, μπορεί να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην εκμάθηση του χειρισμού

πολύπλοκων συσκευών και στην προσαρμογή στις νέες τεχνολογίες. Η παροχή ολοκληρωμένης εκπαίδευσης, φιλικών προς τον χρήστη εγχειριδίων και συνεχούς υποστήριξης είναι ζωτικής σημασίας για να βοηθηθούν οι χρήστες να εξοικειωθούν με τη συσκευή.

Ο σχεδιασμός συσκευών με διαισθητικές διεπαφές και απλά χειριστήρια μπορεί να διευκολύνει την εκμάθηση. Επιπλέον, η προσφορά εξατομικευμένων εκπαιδευτικών συνεδριών και υποστήριξης από φροντιστές ή παρόχους υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες να προσαρμοστούν στη συσκευή και να την ενσωματώσουν στην καθημερινή τους ρουτίνα (Gabbi et al., 2024).

Ρυθμιστικά και ηθικά ζητήματα

Τα ρυθμιστικά και ηθικά ζητήματα επηρεάζουν επίσης την υιοθέτηση και τη χρήση των συσκευών υποστήριξης της κινητικότητας. Οι ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής που σχετίζονται με τη συλλογή και την παρακολούθηση δεδομένων είναι σημαντικές, καθώς οι συσκευές αυτές συχνά συλλέγουν ευαίσθητες πληροφορίες σχετικά με την υγεία και τις κινήσεις των χρηστών. Η εξασφάλιση ισχυρών μέτρων προστασίας δεδομένων και σαφών πολιτικών προστασίας της ιδιωτικής ζωής μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση αυτών των ανησυχιών.

Οι ηθικοί προβληματισμοί σχετικά με την αυτονομία και τη λήψη αποφάσεων είναι επίσης σημαντικοί. Οι χρήστες θα πρέπει να έχουν τον έλεγχο του τρόπου χρήσης των δεδομένων τους και να συμμετέχουν στις αποφάσεις σχετικά με τη φροντίδα τους. Τα ρυθμιστικά πλαίσια πρέπει να εξισορροπούν την καινοτομία με τις ηθικές εκτιμήσεις, διασφαλίζοντας ότι οι συσκευές χρησιμοποιούνται υπεύθυνα και σέβονται τα δικαιώματα και τις προτιμήσεις των χρηστών (Costanzo et al., 2023).

6 Μελέτες περιπτώσεων και ανάλυση δευτερογενών δεδομένων

6.1 Ανασκόπηση δευτερογενών δεδομένων από υπάρχουσες δοκιμές και μελέτες

Για να κατανοήσουμε τον αντίκτυπο και την αποτελεσματικότητα των φορητών ρομποτικών συσκευών που έχουν σχεδιαστεί για ηλικιωμένους, είναι ζωτικής σημασίας να εξετάσουμε τις υπάρχουσες δοκιμές και μελέτες που αξιολογούν αυτές τις τεχνολογίες. Οι βασικές πηγές περιλαμβάνουν κλινικές δοκιμές, μελέτες παρατήρησης και σύνολα δεδομένων που εστιάζουν στη φορητή ρομποτική για την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων. Οι επιλεγμένες μελέτες συχνά περιλαμβάνουν συσκευές όπως εξωσκελετούς, ορθωτικά των κάτω άκρων και άλλα βοηθητικά ρομπότ που αποσκοπούν στη βελτίωση της βάρδισης, της ισορροπίας και της συνολικής κινητικότητας.

Για παράδειγμα, μελέτες όπως αυτές που διεξάγονται για τον εξωσκελετό ReWalk, το HAL (Hybrid Assistive Limb) και διάφορες ρομποτικές συσκευές των κάτω άκρων παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για το πώς αυτές οι τεχνολογίες αποδίδουν σε πραγματικές συνθήκες. Δοκιμές όπως αυτές του έργου «Wearable Robot for Elderly Mobility Enhancement» και της έρευνας «Robotic Gait Assistance for Older Adults» προσφέρουν εκτενή δεδομένα σχετικά με την αποτελεσματικότητα και την εμπειρία των χρηστών (Cruz et al., 2018).

Μεθοδολογικές εκτιμήσεις

Οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μελέτες ποικίλλουν, περιλαμβάνοντας συνήθως τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (RCT), διαχρονικές μελέτες παρατήρησης και πιλοτικές μελέτες. Κάθε μεθοδολογία έχει διακριτά πλεονεκτήματα και περιορισμούς:

- Τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές (RCTs): Οι RCTs θεωρούνται το χρυσό πρότυπο για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων. Ελαχιστοποιούν τη μεροληψία με την τυχαία κατανομή των συμμετεχόντων σε ομάδες θεραπείας ή ελέγχου. Ωστόσο, μπορεί να είναι εντατικές σε πόρους και μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν πάντα τη χρήση στον πραγματικό κόσμο λόγω των ελεγχόμενων ρυθμίσεων.
- Διαχρονικές μελέτες παρατήρησης: Αυτές οι μελέτες παρακολουθούν τους συμμετέχοντες για παρατεταμένες περιόδους για να αξιολογήσουν τις μακροπρόθεσμες επιδράσεις των φορητών συσκευών. Παρέχουν πολύτιμα δεδομένα

σχετικά με τον διαρκή αντίκτυπο και την προσαρμογή των χρηστών, αλλά μπορεί να μην έχουν την αυστηρότητα των RCTs όσον αφορά τον έλεγχο των μεταβλητών.

- Πιλοτικές μελέτες: Αυτές οι προκαταρκτικές μελέτες δοκιμάζουν νέες τεχνολογίες σε μικρή κλίμακα πριν από την ευρύτερη εφαρμογή. Βοηθούν στον εντοπισμό πιθανών ζητημάτων και στην ενημέρωση για μεγαλύτερες μελέτες, αλλά ενδέχεται να μην παρέχουν ολοκληρωμένες αποδείξεις για την αποτελεσματικότητα ή τη γενίκευση.

Κάθε μεθοδολογία επηρεάζει την ερμηνεία των δεδομένων. Για παράδειγμα, οι RCT μπορεί να καταδείξουν βραχυπρόθεσμη αποτελεσματικότητα, ενώ οι διαχρονικές μελέτες προσφέρουν πληροφορίες για τα μακροπρόθεσμα οφέλη και τις προκλήσεις. Ο συνδυασμός των μεθοδολογιών συμβάλλει στη δημιουργία μιας πληρέστερης εικόνας της απόδοσης της συσκευής (Cruz et al., 2018).

Βασικά ευρήματα

Τα βασικά ευρήματα από τις μελέτες που εξετάστηκαν αναδεικνύουν διάφορα σημαντικά αποτελέσματα που σχετίζονται με τις φορητές ρομποτικές συσκευές για ηλικιωμένους ενήλικες:

- Βελτίωση της ταχύτητας βάρδισης: Μελέτες έχουν δείξει ότι οι εξωσκελετοί και οι συσκευές των κάτω άκρων μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ταχύτητα βάρδισης. Για παράδειγμα, ο εξωσκελετός ReWalk κατέδειξε βελτιωμένη ταχύτητα βάρδισης σε ασθενείς με εγκεφαλικό επεισόδιο και άτομα με κακώσεις του νωτιαίου μυελού, γεγονός που μεταφράζεται σε βελτιωμένη κινητικότητα για τους ηλικιωμένους χρήστες.
- Ενισχυμένη ισορροπία και σταθερότητα: Συσκευές όπως ο εξωσκελετός HAL έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στη βελτίωση της ισορροπίας και στη μείωση του κινδύνου πτώσεων. Οι δοκιμές έχουν αναφέρει ενισχυμένο έλεγχο της στάσης και σταθερότητα, που είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη των πτώσεων μεταξύ των ηλικιωμένων.
- Αυξημένη ανεξαρτησία: Η φορητή ρομποτική έχει επηρεάσει θετικά την ανεξαρτησία των χρηστών. Για παράδειγμα, οι χρήστες ορθοτικών για τα κάτω άκρα ανέφεραν μεγαλύτερη ικανότητα ανεξάρτητης εκτέλεσης καθημερινών δραστηριοτήτων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Τα ευρήματα αυτά υπογραμμίζουν τη δυνατότητα των φορητών ρομποτικών συσκευών να αντιμετωπίσουν βασικές προκλήσεις κινητικότητας που αντιμετωπίζουν οι ηλικιωμένοι ενήλικες, αναδεικνύοντας βελτιώσεις στη σωματική κινητικότητα και τη συνολική ποιότητα ζωής (Cruz et al., 2018).

6.2 Ανάλυση του αντίκτυπου και της αποτελεσματικότητας των φορητών συσκευών από δημοσιευμένες πηγές

Αποτελεσματικότητα

Η συνολική αποτελεσματικότητα των φορητών ρομποτικών συσκευών μπορεί να αξιολογηθεί τόσο από φυσική όσο και από ψυχολογική άποψη. Η φυσική αποτελεσματικότητα περιλαμβάνει μετρήσεις όπως η μείωση των ποσοστών πτώσης, η αύξηση της απόστασης βάρδισης και η βελτίωση της σταθερότητας της βάρδισης. Για παράδειγμα, οι χρήστες του εξωσκελετού ReWalk έχουν παρουσιάσει μειώσεις στη συχνότητα των πτώσεων και βελτιώσεις στην απόσταση βάρδισης σε σύγκριση με τις βασικές μετρήσεις.

Τα ψυχολογικά αποτελέσματα είναι εξίσου σημαντικά. Οι φορητές συσκευές οδηγούν συχνά σε βελτιωμένη ανεξαρτησία, αυξημένη αυτοπεποίθηση και υψηλότερη ποιότητα ζωής. Οι χρήστες αναφέρουν ότι αισθάνονται πιο ασφαλείς και ικανοί, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει θετικά την ψυχική ευεξία. Η ενισχυμένη κινητικότητα και ανεξαρτησία συμβάλλουν στην καλύτερη αυτοεκτίμηση και στη μείωση του αισθήματος εξάρτησης (Burzagli et al., 2021).

Συγκριτική αποτελεσματικότητα

Η σύγκριση της αποτελεσματικότητας των διαφόρων φορητών συσκευών αποκαλύπτει αξιοσημείωτες διαφορές στην απόδοση και την εμπειρία του χρήστη. Για παράδειγμα, ενώ ο εξωσκελετός ReWalk είναι αποτελεσματικός για την υποστήριξη ολόκληρου του σώματος και την ενίσχυση της κινητικότητας, συσκευές όπως ο εξωσκελετός HAL επικεντρώνονται στην υποβοήθηση συγκεκριμένων λειτουργιών των άκρων και στη βελτίωση της ισορροπίας. Οι μελέτες υποδεικνύουν ότι ενώ οι εξωσκελετοί πλήρους σώματος προσφέρουν ολοκληρωμένη υποστήριξη, μπορεί να είναι πιο πολύπλοκοι και λιγότερο διαισθητικοί από τις συσκευές για τα κάτω άκρα.

Οι συσκευές κάτω άκρων, όπως το EksoGT, παρέχουν στοχευμένη υποστήριξη για τη βάρδιση και την ισορροπία, αλλά μπορεί να μην έχουν την υποστήριξη ολόκληρου του σώματος που προσφέρουν τα πιο ολοκληρωμένα συστήματα. Οι συγκριτικές αναλύσεις δείχνουν ότι η επιλογή της συσκευής εξαρτάται από τις ατομικές ανάγκες, τις προτιμήσεις και τις συγκεκριμένες προκλήσεις κινητικότητας. Οι συσκευές που προσφέρουν προσαρμοσμένη υποστήριξη για τη βάρδιση και την ισορροπία προτιμώνται συχνά από χρήστες με συγκεκριμένες διαταραχές βάρδισης (Burzagli et al., 2021).

Περιβαλλοντικοί παράγοντες

Η αποτελεσματικότητα των φορητών ρομποτικών συσκευών επηρεάζεται από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η κατάσταση της συσκευής, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης συντήρησης και επισκευής της, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο. Οι συσκευές που συντηρούνται καλά και λειτουργούν άριστα παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα. Η τακτική συντήρηση και οι έγκαιρες επισκευές διασφαλίζουν ότι η συσκευή λειτουργεί αποτελεσματικά και με ασφάλεια.

Η διάρκεια και η συχνότητα χρήσης επηρεάζουν επίσης την αποτελεσματικότητα. Η συνεπής χρήση της συσκευής είναι απαραίτητη για την επίτευξη και τη διατήρηση βελτιώσεων στην κινητικότητα. Μελέτες δείχνουν ότι οι χρήστες που εντάσσουν τη συσκευή στην καθημερινή τους ρουτίνα έχουν σημαντικότερα οφέλη από εκείνους που τη χρησιμοποιούν σποραδικά. Ως εκ τούτου, η καθιέρωση συνηθισμένων μοτίβων χρήσης είναι ζωτικής σημασίας για τη μεγιστοποίηση του αντίκτυπου της συσκευής (Burzagli et al., 2021).

6.3 Διδάγματα και συνέπειες για το σχεδιασμό και τη χρήση

Η ανασκόπηση και η ανάλυση των υφιστάμενων δεδομένων αποκαλύπτουν διάφορα σημαντικά διδάγματα για τις φορητές ρομποτικές συσκευές:

- Σχεδιασμός με επίκεντρο τον χρήστη: Οι συσκευές που δίνουν προτεραιότητα στην άνεση και την ευκολία χρήσης του χρήστη είναι πιο πιθανό να υιοθετηθούν και να χρησιμοποιηθούν με συνέπεια. Χαρακτηριστικά όπως τα ρυθμιζόμενα εξαρτήματα, τα διαισθητικά χειριστήρια και τα ελαφριά υλικά ενισχύουν την εμπειρία του χρήστη και τη συμμόρφωση.
- Προσαρμογή και προσαρμοστικότητα: Οι αποτελεσματικές συσκευές συχνά προσφέρουν επιλογές προσαρμογής για να ανταποκρίνονται στις ατομικές ανάγκες. Η εξατομίκευση των επιπέδων υποστήριξης, των ρυθμίσεων και της εφαρμογής

μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της συσκευής και την ικανοποίηση του χρήστη.

- Εκπαίδευση και υποστήριξη: Η ολοκληρωμένη εκπαίδευση και η συνεχής υποστήριξη είναι απαραίτητες για την επιτυχή υιοθέτηση της συσκευής. Οι χρήστες επωφελούνται από σαφείς οδηγίες, πρακτική εκπαίδευση και προσβάσιμους πόρους υποστήριξης που διευκολύνουν την αποτελεσματική χρήση (Abdi & Hawley, 2021).

Επιπτώσεις σχεδιασμού

Με βάση αυτά τα διδάγματα, προκύπτουν διάφορες σχεδιαστικές επιπτώσεις:

- Βελτίωση της άνεσης και της χρηστικότητας: Οι μελλοντικές συσκευές θα πρέπει να επικεντρωθούν στη βελτίωση της άνεσης μέσω εργονομικού σχεδιασμού, υλικών που αναπνέουν και ρυθμιζόμενων εξαρτημάτων. Η απλούστευση των διεπαφών χρήστη και των ελέγχων θα καταστήσει τις συσκευές πιο προσιτές στους ηλικιωμένους.
- Αύξηση της προσαρμογής: Η ενσωμάτωση περισσότερων χαρακτηριστικών προσαρμογής μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των διαφορετικών αναγκών των χρηστών. Τα ρυθμιζόμενα επίπεδα υποστήριξης, οι εξατομικευμένες ρυθμίσεις και τα αρθρωτά εξαρτήματα μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της συσκευής και την ικανοποίηση των χρηστών.
- Επέκταση της κατάρτισης και της υποστήριξης: Η παροχή ολοκληρωμένων προγραμμάτων κατάρτισης και προσβάσιμων πόρων υποστήριξης είναι ζωτικής σημασίας. Η προσφορά εξατομικευμένων συνεδριών κατάρτισης και συνεχούς υποστήριξης μπορεί να βοηθήσει τους χρήστες να ενσωματώσουν τη συσκευή στην καθημερινή τους ζωή και να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη της (Abdi & Hawley, 2021).

Πρακτικά ζητήματα χρήσης

Η εφαρμογή φορητών ρομποτικών συσκευών σε πραγματικές καταστάσεις περιλαμβάνει την αντιμετώπιση πρακτικών ζητημάτων:

- Ανάγκες κατάρτισης: Η διασφάλιση ότι οι χρήστες και οι φροντιστές λαμβάνουν επαρκή εκπαίδευση είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική χρήση της συσκευής. Τα προγράμματα κατάρτισης θα πρέπει να προσαρμόζονται στις ατομικές ανάγκες και να περιλαμβάνουν πρακτικές επιδείξεις και συνεχή υποστήριξη.

- Απαιτήσεις συντήρησης: Οι συσκευές θα πρέπει να είναι σχεδιασμένες για εύκολη συντήρηση και επισκευή. Τα δομοστοιχειωτά εξαρτήματα και οι σαφείς οδηγίες συντήρησης μπορούν να βοηθήσουν τους χρήστες να διαχειριστούν τη συντήρηση και να αντιμετωπίσουν τυχόν προβλήματα που προκύπτουν.
- Ενσωμάτωση στις καθημερινές ρουτίνες: Θα πρέπει να αναπτυχθούν στρατηγικές για την ενσωμάτωση των συσκευών στην καθημερινή ρουτίνα. Αυτό περιλαμβάνει την παροχή καθοδήγησης σχετικά με τον τρόπο ενσωμάτωσης της συσκευής σε διάφορες δραστηριότητες και ρουτίνες, διασφαλίζοντας ότι οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τη συσκευή στην καθημερινή τους ζωή (Abdi & Hawley, 2021).

7 Συμπεράσματα και συστάσεις

7.1 Σύνοψη των ευρημάτων και η σημασία τους

Η παρούσα εργασία παρέχει μια ολοκληρωμένη εξέταση των φορητών ρομποτικών συσκευών για την ενίσχυση της κινητικότητας των ηλικιωμένων, εστιάζοντας σε διάφορες διαστάσεις από τα θεωρητικά πλαίσια έως τις πρακτικές εφαρμογές. Ακολουθούν τα βασικά ευρήματα:

Βιβλιογραφική σύνοψη: Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αναδεικνύει σημαντικές εξελίξεις στη φορητή ρομποτική τεχνολογία με στόχο τη βελτίωση της κινητικότητας των ηλικιωμένων ενηλίκων. Οι μελέτες δείχνουν ότι οι συσκευές αυτές μπορούν να βελτιώσουν αποτελεσματικά την ταχύτητα βάδισης, την ισορροπία και τη συνολική ανεξαρτησία, βελτιώνοντας έτσι δυνητικά την ποιότητα ζωής των χρηστών.

Θεωρητικό πλαίσιο: Το θεωρητικό πλαίσιο καθόρισε ότι οι φορητές ρομποτικές συσκευές λειτουργούν με βάση τις αρχές της εμβιομηχανικής και των συστημάτων ελέγχου. Αυτά τα πλαίσια στηρίζουν τη λειτουργικότητα διαφόρων τύπων συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των πλήρων εξωσκελετών και των υποστηριγμάτων των κάτω άκρων, καταδεικνύοντας το ρόλο τους στην παροχή φυσικής βοήθειας και την προσαρμογή στις ανάγκες των χρηστών.

Θέματα σχεδιασμού: Η ανάλυση των ζητημάτων σχεδιασμού αποκάλυψε κρίσιμους παράγοντες όπως η ανάγκη για άνεση του χρήστη, προσαρμοστικότητα και διαισθητικές διεπαφές. Οι συσκευές πρέπει να αντιμετωπίζουν αυτούς τους παράγοντες για να εξασφαλίσουν αποτελεσματική υποστήριξη και ευκολία χρήσης για τους ηλικιωμένους, συμπεριλαμβανομένων των εκτιμήσεων για την κατανομή του βάρους, την προσαρμοστικότητα και τα φιλικά προς τον χρήστη χειριστήρια.

Προκλήσεις και περιορισμοί: Η διερεύνηση των τεχνικών προκλήσεων ανέδειξε την πολυπλοκότητα της ενσωμάτωσης αισθητήρων, ενεργοποιητών και συστημάτων ισχύος. Επιπλέον, επισημάνθηκαν ζητήματα όπως η ανθεκτικότητα της συσκευής, η συντήρηση και η ισορροπία μεταξύ των απαιτήσεων ισχύος και του βάρους της συσκευής. Τα κοινωνικά εμπόδια, συμπεριλαμβανομένου του κόστους, του στίγματος και της ανάγκης για επαρκή εκπαίδευση, επηρεάζουν επίσης την υιοθέτηση και την αποτελεσματική χρήση αυτών των τεχνολογιών.

Μελέτες περιπτώσεων και ανάλυση δευτερογενών δεδομένων: Η εξέταση δοκιμών και δευτερογενών δεδομένων υπογράμμισε τα πρακτικά αποτελέσματα των φορητών ρομποτικών συσκευών. Τα βασικά ευρήματα περιλαμβάνουν βελτιωμένη κινητικότητα, αυξημένη ανεξαρτησία και βελτιωμένη ποιότητα ζωής. Συσκευές όπως οι εξωσκελετοί ReWalk και HAL έδειξαν αξιοσημείωτα οφέλη στην ταχύτητα βάδισης και την ισορροπία, αν και παρατηρήθηκαν προκλήσεις που σχετίζονται με την εκπαίδευση των χρηστών και τη συντήρηση της συσκευής.

Η σημασία αυτών των ευρημάτων έγκειται στη δυνατότητά τους να μετασχηματίσουν τη φροντίδα των ηλικιωμένων με την αντιμετώπιση των προβλημάτων κινητικότητας μέσω προηγμένης τεχνολογίας. Οι φορητές ρομποτικές συσκευές προσφέρουν μια πολλά υποσχόμενη λύση στις αυξανόμενες προκλήσεις της κινητικότητας σε έναν γηράσκοντα πληθυσμό. Δεν ενισχύουν μόνο τη σωματική κινητικότητα, αλλά συμβάλλουν και στην ψυχολογική ευημερία προωθώντας την ανεξαρτησία και μειώνοντας τον κίνδυνο πτώσεων. Οι γνώσεις που αποκτήθηκαν συμβάλλουν στην ευρύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογία μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα ζωής και παρέχουν μια βάση για μελλοντικές εξελίξεις στον τομέα αυτό.

7.2 Συστάσεις για μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις

Αντιμετώπιση των κενών

Η παρούσα έρευνα αναδεικνύει διάφορα κενά που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης:

- **Μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα:** Υπάρχει ανάγκη για περισσότερες διαχρονικές μελέτες για την αξιολόγηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων των φορητών ρομποτικών συσκευών στην κινητικότητα, τα αποτελέσματα της υγείας και την ικανοποίηση των χρηστών.
- **Προσαρμογή και εξατομίκευση:** Η έρευνα θα πρέπει να διερευνήσει τον τρόπο καλύτερης προσαρμογής των συσκευών στις ατομικές ανάγκες, συμπεριλαμβανομένων των διαφορών στις φυσικές ικανότητες, τις προτιμήσεις των χρηστών και τις ειδικές προκλήσεις κινητικότητας.
- **Κόστος-αποτελεσματικότητα:** Απαιτούνται περαιτέρω μελέτες για την αξιολόγηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας των φορητών ρομποτικών συσκευών, συμπεριλαμβανομένων αναλύσεων των οικονομικών επιπτώσεων στα συστήματα

υγειονομικής περίθαλψης και της οικονομικής προσιτότητας για τους τελικούς χρήστες.

Βελτιώσεις σχεδιασμού και τεχνολογίας

Με βάση τα ευρήματα, διάφορες συστάσεις για μελλοντικές σχεδιαστικές και τεχνολογικές βελτιώσεις περιλαμβάνουν:

- **Ενισχυμένος σχεδιασμός με επίκεντρο τον χρήστη:** Οι μελλοντικές συσκευές θα πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στην άνεση και την ευκολία χρήσης του χρήστη. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη ελαφρών, ρυθμιζόμενων σχεδιασμών με διαισθητικά χειριστήρια και βελτιωμένα εργονομικά χαρακτηριστικά για την εξυπηρέτηση ενός ευρέος φάσματος σωματότυπων και επιπέδων κινητικότητας.
- **Προηγμένες τεχνολογίες αισθητήρων και ενεργοποιητών:** Η έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη ακριβέστερων και πιο ευέλικτων αισθητήρων και ενεργοποιητών. Οι καινοτομίες σε αυτούς τους τομείς μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση της συσκευής, να μειώσουν την καθυστέρηση στους χρόνους απόκρισης και να βελτιώσουν τη συνολική εμπειρία του χρήστη.
- **Ενσωμάτωση αναδυόμενων τεχνολογιών:** Η ενσωμάτωση αναδυόμενων τεχνολογιών όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και τα προηγμένα υλικά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο προσαρμοστικές και αποτελεσματικές συσκευές. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι με βάση την ΤΝ θα μπορούσαν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση της συσκευής με βάση τα δεδομένα του χρήστη σε πραγματικό χρόνο.

Πολιτική και εφαρμογή

Για να διευκολυνθεί η υιοθέτηση και η αποτελεσματική χρήση των φορητών ρομποτικών συσκευών, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν διάφοροι τομείς πολιτικής και εφαρμογής:

- **Ρυθμιστικές αλλαγές:** Ανάπτυξη και τυποποίηση κανονισμών για τη διασφάλιση της ασφάλειας, της αποτελεσματικότητας και της ποιότητας των φορητών ρομποτικών συσκευών. Αυτό περιλαμβάνει τη θέσπιση σαφών κατευθυντήριων γραμμών για τη δοκιμή και την πιστοποίηση των συσκευών.
- **Προγράμματα κατάρτισης:** Εφαρμογή ολοκληρωμένων προγραμμάτων κατάρτισης για τους χρήστες και τους φροντιστές. Τα προγράμματα αυτά θα πρέπει να εστιάζουν

στη λειτουργία της συσκευής, τη συντήρηση και την ενσωμάτωση στην καθημερινή ρουτίνα.

- Πρωτοβουλίες χρηματοδότησης: Υποστήριξη της χρηματοδότησης και των επιδοτήσεων για να γίνουν οι φορητές ρομποτικές συσκευές πιο προσιτές. Αυτό θα μπορούσε να περιλαμβάνει συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα για την υποστήριξη της έρευνας, της ανάπτυξης και της προσβασιμότητας.

7.3 Τελικές σκέψεις για το ρόλο των φορητών ρομποτικών συσκευών στην υποβοήθηση της κινητικότητας των ηλικιωμένων

Οι φορητές ρομποτικές συσκευές διαθέτουν σημαντικές δυνατότητες για την αντιμετώπιση των προβλημάτων κινητικότητας των ηλικιωμένων. Με αισιοδοξία, οι τεχνολογίες αυτές θα μπορούσαν να φέρουν επανάσταση στη φροντίδα των ηλικιωμένων παρέχοντας ενισχυμένη υποστήριξη για την κινητικότητα, μειώνοντας τους κινδύνους πτώσης και προωθώντας την ανεξαρτησία. Η ενσωμάτωση της προηγμένης ρομποτικής στην καθημερινή ζωή μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη σωματική και ψυχολογική ευεξία, επιτρέποντας στους ηλικιωμένους ενήλικες να διατηρήσουν έναν ενεργό και ικανοποιητικό τρόπο ζωής.

Ωστόσο, η διαχείριση των προκλήσεων και των κινδύνων που συνδέονται με αυτές τις τεχνολογίες είναι απαραίτητη. Ζητήματα όπως η πολυπλοκότητα των συσκευών, η συντήρηση και η προσαρμογή των χρηστών πρέπει να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί η ευρεία αποδοχή και η αποτελεσματική χρήση. Η ανάπτυξη συσκευών που δεν είναι μόνο τεχνολογικά προηγμένες αλλά και φιλικές προς τον χρήστη και προσαρμόσιμες θα είναι το κλειδί για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων.

Ηθικά και κοινωνικά ζητήματα θα πρέπει να καθοδηγούν την ανάπτυξη και την εφαρμογή φορητών ρομποτικών συσκευών. Η διασφάλιση ότι η τεχνολογία ευθυγραμμίζεται με τις ανθρώπινες αξίες, σέβεται την ιδιωτική ζωή και προωθεί την αυτονομία είναι ζωτικής σημασίας. Η αντιμετώπιση του στίγματος και των πολιτισμικών στάσεων απέναντι στην αναπηρία και την υποστηρικτική τεχνολογία θα συμβάλει στην προώθηση της αποδοχής και της ενσωμάτωσης.

Εν κατακλείδι, οι φορητές ρομποτικές συσκευές έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό την υποστήριξη της κινητικότητας των ηλικιωμένων. Αντιμετωπίζοντας τους σημερινούς περιορισμούς και εστιάζοντας στον σχεδιασμό με επίκεντρο τον χρήστη, οι προγραμματιστές τεχνολογίας μπορούν να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα και την

αποδοχή αυτών των συσκευών. Το μέλλον της φορητής ρομποτικής στη φροντίδα των ηλικιωμένων είναι πολλά υποσχόμενο, προσφέροντας ευκαιρίες για τη βελτίωση της ανεξαρτησίας, της κινητικότητας και της συνολικής ποιότητας ζωής των ηλικιωμένων. Η συνεχής έρευνα, η καινοτομία και η προσεκτική εφαρμογή θα είναι απαραίτητες για την αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων και τη μεταμόρφωση του τοπίου της φροντίδας ηλικιωμένων.

Βιβλιογραφία

Abd El Fatah, N. K., Khedr, M. A., Alshammari, M., & Elgarhy, S. M. A (2024). Effect of immersive virtual reality reminiscence versus traditional reminiscence therapy on cognitive function and psychological well-being among older adults in assisted living facilities: A randomized controlled trial. *Geriatric Nursing*, 55, 191–203. <https://doi.org/10.1016>

Abdi, S., de Witte, L., & Hawley, M. (2021). Exploring the potential of emerging technologies to meet the care and support needs of older people: A Delphi survey. *Geriatrics*, 13(1), 19. <https://doi.org/10.3390/geriatrics6010019>

Abdollahi, H., Mahoor, M. H., Zandie, R., Siewierski, J., & Qualls, S. A. (2022). Artificial emotional intelligence in socially assistive robots for older adults: A pilot study. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 14(3), 2020–2032. <https://doi.org/10.1109/>

Aggar, C., Sorwar, G., Seton, C., Penman, O., & Ward, A. (2023). Smart home technology to support older people's quality of life: A longitudinal pilot study. *International Journal of Older People Nursing*, 18(1), e12489. <https://doi.org/10.1111/opn.12489>

Al-Saleh, S., Lee, J. K., Rogers, W. A., & Insel, K. C. (2024). Translation of a successful behavioral intervention to a digital therapeutic self-management system for older adults. *Ergonomics in Design*, 32(2), 5–13. <https://doi.org/10.1177/>

Bean J. F., Leveille S. G., Kiely D. K., Bandinelli S., Guralnik J. M., Ferrucci L. (2003). A Comparison of Leg Power and Leg Strength Within the InCHIANTI Study: Which Influences Mobility More? *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 58 728–733.

Bell K. E., von Allmen M. T., Devries M. C., Phillips S. M. (2016). Muscle Disuse as a Pivotal Problem in Sarcopenia-related Muscle Loss and Dysfunction. *J. Frailty Aging.* 5 33–41.

Blidberg, D. R. (1981, September 16–18). Computer systems for autonomous vehicles. In Proceedings of the OCEANS-81, *IEEE Conference*, Boston, MA, USA (pp. 83–87).

Booth F. W., Roberts C. K., Laye M. J. (2012). Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Comprehens. Physiol.* 2 1143–1211.

Brabrand M., Kellett J., Opio M., Cooksley T., Nickel C. H. (2018). Should impaired mobility on presentation be a vital sign? *Acta Anaesthesiol. Scandinavica. Acta.* 62 945–952. 10.1111/aas.13098

Bradwell, H. L., Cooper, L., Baxter, R., Tomaz, S., Edwards, K. J., Whittaker, A. C., & Jones, R. B. (2024). Implementation of Virtual Reality motivated physical activity via omnidirectional treadmill in a supported living facility for older adults: a mixed methods evaluation: Virtual reality to motivate physical activity for older adults. In *Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–13).

<https://doi.org/10.1145/3613904.3642281>

Bradwell, H., Edwards, K. J., Winnington, R., Thill, S., Allgar, V., & Jones, R. B. (2022). Implementing affordable socially assistive pet robots in care homes before and during the covid-19 pandemic: Stratified cluster randomized controlled trial and mixed methods study. *JMIR aging*, 5(3), e38864. <https://aging.jmir.org/2022/3/>

Broggi, A., Buzzoni, M., Debattisti, S., Grisleri, P., Laghi, M. C., Medici, P., & Versari, P. (2013). Extensive tests of autonomous driving technologies. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 14(4), 1403–1415.

Brown C. J., Flood K. L. (2013). Mobility limitation in the older patient: a clinical review. *JAMA* 310 1168–1177. 10.1001/jama.2013.276566

Burgard, W., Moors, M., Stachniss, C., & Schneider, F. E. (2005). Coordinated multi-robot exploration. *IEEE Transactions on Robotics*, 21(3), 376–386.

Burzagli, L., Emiliani, P. L., Antona, M., & Stephanidis, C. (2021). Intelligent environments for all: a path towards technology-enhanced human well-being. *Universal Access in the Information Society*, 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00797-0>

Cahn, D. F., & Phillips, S. R. (1975). ROBNOV: A range-based robot navigation and obstacle avoidance algorithm. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 5(5), 544–551.

Callisaya M. L., Launay C. P., Srikanth V. K., Verghese J., Allali G., Beauchet O. (2017). Cognitive status, fast walking speed and walking speed reserve-the Gait and Alzheimer Interactions Tracking (GAIT) study. *GeroScience* 39 231–239. 10.1007/s11357-017-9973-y

- Carros, F., Meurer, J., Löffler, D., Unbehauen, D., Matthies, S., Koch, I., & Wulf, V. (2020). Exploring human-robot interaction with the elderly: results from a ten-week case study in a care home. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–12). <https://doi.org/10.1145/3313831.3376402>
- Cavazzana A., Röhrborn A., Garthus-Niegel S., Larsson M., Hummel T., Croy I. (2018). Sensory-specific impairment among older people. *An investigation using both sensory thresholds and subjective measures across the five senses. PLoS One* 13:e0202969. [10.1371/journal.pone.0202969](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202969)
- Cesta, A., Cortellessa, G., Orlandini, A., & Tiberio, L. (2016). Long-term evaluation of a telepresence robot for the elderly: Methodology and ecological case study. *International Journal of Social Robotics*, 8(3), 421–441. <https://doi.org/10.1007/s12369-016-0337-z>
- Cesta, A., Cortellessa, G., Pecora, F., & Rasconi, R. (2007). Supporting interaction in the ROBOCARE intelligent assistive environment. In *AAAI spring symposium: Interaction challenges for intelligent assistants* (pp. 18–25). Stanford: University Press.
- Choi, H. L., Brunet, L., & How, J. P. (2009). Consensus-based decentralized auctions for robust task allocation. *IEEE Transactions on Robotics*, 25(4), 912–926.
- Choy N. L., Brauer S., Nitz J. (2003). Changes in postural stability in women aged 20 to 80 years. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 58 525–530.
- Clark B. C. (2019). Neuromuscular Changes with Aging and Sarcopenia. *J. Frailty Aging* 8 7–9.
- Cosar, S., Fernandez-Carmona, M., Agrigoroaie, R., Pages, J., Ferland, F., Zhao, F., & Tapus, A. (2020). ENRICHME: Perception and interaction of an assistive robot for the elderly at home. *International Journal of Social Robotics*, 12, 779–805. <https://doi.org/10.1007/s12369-019-00614-y>
- Costanzo, M. G., Smeriglio, R., & Di Nuovo, S. (2023). Virtual Reality for the assessment and treatment of cognitive impairment in the elderly: A scoping review. *Life Span and Disability*, 26(2), 293–328. https://doi.org/10.57643/lsadj.2023.26.2_12_293
- Cruz-Jentoft A. J., Bahat G., Bauer J., Boirie Y., Bruyere O., Cederholm T., et al. (2018). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 48 16–31. [10.1093/ageing/afy169](https://doi.org/10.1093/ageing/afy169)

- Cruz-Jimenez M. (2017). Normal Changes in Gait and Mobility Problems in the Elderly. *Phy. Med. Rehabil. Clin. North Am.* 28 713–725. 10.1016/j.pmr.2017.06.005
- Cummings S. R., Studenski S., Ferrucci L. (2014). A diagnosis of dismobility—giving mobility clinical visibility: a Mobility Working Group recommendation. *JAMA* 311 2061–2062. 10.1001/jama.2014.3033
- De Cock A. M., Fransen E., Perkisas S., Verhoeven V., Beauchet O., Vandewoude M., et al. (2019). Comprehensive Quantitative Spatiotemporal Gait Analysis Identifies Gait Characteristics for Early Dementia Subtyping in Community Dwelling Older Adults. *Front. in Neurol.* 10:313. 10.3389/fneur.2019.00313
- DeSouza, G. N., & Kak, A. C. (2002). Vision for mobile robot navigation: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(2), 237–267.
- Dong, X., Yu, B., Shi, Z., & Zhong, Y. (2015). Time-varying formation control for unmanned aerial vehicles: Theories and applications. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 23(1), 340–348.
- Drey M., Krieger B., Sieber C. C., Bauer J. M., Hettwer S., Bertsch T. (2014). Motoneuron loss is associated with sarcopenia. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 15 435–439. 10.1016/j.jamda.2014.02.002
- Eggenberger P., Tomovic S., Munzer T., de Bruin E. D. (2017). Older adults must hurry at pedestrian lights! A cross-sectional analysis of preferred and fast walking speed under single- and dual-task conditions. *PLoS One* 12:e0182180. 10.1371/journal.pone.0182180
- Erickson, Z., Gu, Y., & Kemp, C. C. (2020). Assistive vr gym: Interactions with real people to improve virtual assistive robots. In *29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)* (pp. 299–306). <https://doi.org/10.1109/RO-MAN47096.2020.9223609>
- Fasola, J., & Mataric, M. J. (2013). A Socially Assistive Robot Exercise Coach for the Elderly. *Journal of Human-Robot Interaction*, 2(2), 3–32. <https://doi.org/10.5898/JHRI.2.2.Fasola>
- Ferrucci L., Baroni M., Ranchelli A., Lauretani F., Maggio M., Mecocci P., et al. (2016). Interaction between bone and muscle in older persons with mobility limitations. *Curr. Pharm.* 20 3178–3197. 10.2174/13816128113196660690

- Figliano, G., Manzi, F., Tacci, A. L., Marchetti, A., & Massaro, D. (2023). Ageing society and the challenge for social robotics: A systematic review of Socially Assistive Robotics for MCI patients. *PLoS ONE*, 18(11), Article e0293324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293324>
- Fotteler, M. L., Mühlbauer, V., Brefka, S., Mayer, S., Kohn, B., Holl, F., & Dallmeier, D. (2022). The Effectiveness of Assistive Technologies for Older Adults and the Influence of Frailty: Systematic Literature Review of Randomized Controlled Trials. *JMIR Aging*, 5(2), e31916. <https://doi.org/10.2196/31916>
- Fritz S., Lusardi M. (2009). White paper: “walking speed: the sixth vital sign. *J. Geriatr. Phys. Ther.* 32 46–49
- Fritz, R. L., Wilson, M., Dermody, G., Schmitter-Edgecombe, M., & Cook, D. J. (2020). Automated smart home assessment to support pain management: multiple methods analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 22(11), e23943. <https://doi.org/10.2196/23943>
- Fujimura, K., & Samet, H. (1989). A hierarchical strategy for path planning among moving obstacles (mobile robots). *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 5(1), 61–69.
- Gabbi, M., Villani, V., & Sabattini, L. (2024). Towards Mixed Reality Applications to Support Active and Lively Ageing. *7th International workshop on virtual, augmented, and mixed-reality for human-robot interactions*. vam-hri 2024. Boulder, CO, US. <https://openreview.net/forum?id=D7HN0taTVw>.
- Gasteiger, N., Ahn, H. S., Fok, C., Lim, J., Lee, C., MacDonald, B. A., & Broadbent, E. (2022). Older adults’ experiences and perceptions of living with Bomy, an assistive daily care robot: a qualitative study. *Assistive Technology*, 34(4), 487–497. <https://doi.org/10.1080/10400435.2021.1877210>
- Gawronska, K., & Lorkowski, J. (2021). Smart homes for the older population: particularly important during the COVID-19 outbreak. *Reumatologia/Rheumatology Supplements*, 2021(1), 41–46. <https://doi.org/10.5114/reum.2021.103939>
- Ghorbani, F., Taghavi, M. F., & Delrobaei, M. (2022). Towards an intelligent assistive system based on augmented reality and serious games. *Entertainment Computing*, 40, Article 100458. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2021.100458>

- Glaser, S., Vanholme, B., Mammari, S., Gruyer, D., & Nouvelière, L. (2010). Maneuver-based trajectory planning for highly autonomous vehicles on real road with traffic and driver interaction. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 11(3), 589–606.
- Gruver, W. A. (1994). Intelligent robotics in manufacturing, service, and rehabilitation: An overview. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 41(1), 4–11.
- Guldner, J., & Utkin, V. I. (1995). Sliding mode control for gradient tracking and robot navigation using artificial potential fields. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 11(2), 247–254.
- Halim, I., Saptari, A., Perumal, P. A., Abdullah, Z., Abdullah, S., & Muhammad, M. N. (2022). A review on usability and user experience of assistive social robots for older persons. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(6), 102–124. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.06.010>
- Hallal P. C., Andersen L. B., Bull F. C., Guthold R., Haskell W., Ekelund U. (2012). Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *Lancet* 380 247–257. 10.1016/s0140-6736(12)60646-1
- Hamid, S., Faith, F., Jaafar, Z., Ghani, N. A., & Yusop, F. D. (2023). Emerging technology for healthy lifestyle of the middle-age and elderly: A scoping review. *Iranian Journal of Public Health*, 52(2), 230–242. <https://doi.org/10.18502/ijph.v52i2.11877>
- Harada C. N., Natelson Love M. C., Triebel K. L. (2013). Normal cognitive aging. *Clin. Geriatr. Med.* 29 737–752.
- Hardy S. E., Kang Y., Studenski S. A., Degenholtz H. B. (2011). Ability to walk 1/4 mile predicts subsequent disability, mortality, and health care costs. *J. Gen. Intern. Med.* 26 130–135. 10.1007/s11606-010-1543-2
- Hartmann, K. V., Prime, N., & Rubeis, G. (2023). Lost in translation? Conceptions of privacy and independence in the technical development of AI-based AAL. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 26(1), 99–110. <https://doi.org/10.1007/s11019-022-10126-8>
- Herssens N., Verbecque E., Hallemans A., Vereeck L., Van Rompaey V., Saeys W. (2018). Do spatiotemporal parameters and gait variability differ across the lifespan of healthy adults? *A Sys. Rev. Gait Posture* 64 181–190. 10.1016/j.gaitpost.2018.06.012

- Hortobagyi, T., Deák, D., Farkas, D., Blényesi, E., Török, K., Granacher, U., & Tollár, J. (2021). Effects of exercise dose and detraining duration on mobility at late midlife: a randomized clinical trial. *Gerontology*, 67(4), 403-414.
- Huisman, C., & Kort, H. (2019). Two-year use of care robot Zora in Dutch nursing homes: An evaluation study. *Healthcare*, 7(1), 31. <https://doi.org/10.3390/healthcare7010031>
- Kamper, R. S., Alcazar, J., Andersen, L. L., Haddock, B., Jørgensen, N. R., Hovind, P., & Suetta, C. (2021). Associations between inflammatory markers, body composition, and physical function: the Copenhagen Sarcopenia Study. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 12(6), 1641-1652.
- Keirse, D., Mitchell, J., Bullock, B., Nussmeier, T., & Tseng, D. Y. (1985). Autonomous vehicle control using AI techniques. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 11(11), 986–992.
- Kim, J., Shin, E., Han, K., Park, S., Youn, J. H., Jin, G., & Lee, J. Y. (2021). Efficacy of smart speaker– based metamemory training in older adults: Case-control cohort study. *Journal of Medical Internet Research*, 23(2), e20177. <https://doi.org/10.2196/20177>
- Kirk, D. E., & Lim, L. Y. (1970). A dual-mode routing algorithm for an autonomous roving vehicle. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 6(3), 290–294.
- Ko S. U., Hausdorff J. M., Ferrucci L. (2010). Age-associated differences in the gait pattern changes of older adults during fast-speed and fatigue conditions: results from the Baltimore longitudinal study of ageing. *Age Ageing*. 39 688–694. 10.1093/ageing/afq113
- Lee, S., & Naguib, A. M. (2020). Toward a sociable and dependable elderly care robot: Design, implementation and user study. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 98, 5–17. <https://doi.org/10.1007/s10846-019-01028-8>
- Liao, J., Cui, X., & Kim, H. (2023). Mapping a decade of smart homes for the elderly in web of science: a scientometric review in citespace. *Buildings*, 13(7), 1581. <https://doi.org/10.3390/buildings1307158>
- Liljas A. E. M., Jones A., Cadar D., Steptoe A., Lassale C. (2020). Association of Multisensory Impairment With Quality of Life and Depression in English Older Adults. *JAMA Otolaryngol. Head Neck Sur*. 146 278–285. 10.1001/jamaoto.2019.4470

- Liu B., Hu X., Zhang Q., Fan Y., Li J., Zou R., et al. (2016). Usual walking speed and all-cause mortality risk in older people: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture*, 44 172–177. [10.1016/j.gaitpost.2015.12.008](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.12.008)
- Lotfi, A., Langensiepen, C., & Yahaya, S. W. (2018). Socially assistive robotics: Robot exercise trainer for older adults. *Technologies*, 6(1), 32. <https://doi.org/10.3390/technologies6010032>
- Lunardini, F., Luperto, M., Romeo, M., Renoux, J., Basilico, N., Krpić, A., Borghese, N. A., & Ferrante, S. (2019). The MOVECARE project: Home-based monitoring of frailty. In *IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI)* (pp. 1–4). <https://doi.org/10.1109/BHI.2019.8834482>. Chicago.
- Luo, R. C., & Kay, M. G. (1989). Multisensor integration and fusion in intelligent systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 19(5), 901–931.
- Margaritini, A., Benadduci, M., Amabili, G., Bonfigli, A. R., Luzi, R., Wac, K., & Bevilacqua, R. (2022). The social robot companion to support homecare nurses: The guardian study protocol. *Contemporary Clinical Trials Communications*, 30, Article 101024. <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2022.101024>
- Marikyan, D., Papagiannidis, S., & Alamanos, E. (2019). A systematic review of the smart home literature: A user perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, 139–154. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.015>
- Martinez, A. M., & Kak, A. C. (2001). PCA versus LDA. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 23(2), 228–233.
- Marzetti E., Calvani R., Tosato M., Cesari M., Di Bari M., Cherubini A., et al. (2017). Physical activity and exercise as countermeasures to physical frailty and sarcopenia. *Aging Clin. Exp. Res.* 29 35–42. [10.1007/s40520-016-0705-4](https://doi.org/10.1007/s40520-016-0705-4)
- McGhee, R. B., & Iswandhi, G. I. (1979). Adaptive locomotion of a multilegged robot over rough terrain. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(4), 176–182.
- Meystel, A. (2003). *Encyclopedia of physical science and technology* (3rd ed., pp. 1–24). Academic Press.

- Mitchell J. A., Johnson-Lawrence V., Williams E. G., Thorpe R., Jr. (2018). Characterizing Mobility Limitations Among Older African American Men. *J. Nat. Med. Assoc.* 110 190–196. 10.1016/j.jnma.2017.05.002
- Momin, M. S., Sufian, A., Barman, D., Dutta, P., Dong, M., & Leo, M. (2022). In-home older adults' activity pattern monitoring using depth sensors: A review. *Sensors*, 22 (23), 9067. <https://doi.org/10.3390/s22239067>
- Musich S., Wang S. S., Ruiz J., Hawkins K., Wicker E. (2018). The impact of mobility limitations on health outcomes among older adults. *Geriatr. Nur.* 39 162–169. 10.1016/j.gerinurse.2017.08.002
- Nicholson, L., Milford, M., & Sünderhauf, N. (2019). QuadricSLAM: Dual quadrics from object detections as landmarks in object-oriented SLAM. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(1), 1–8.
- Osoba M. Y., Rao A. K., Agrawal S. K., Lalwani A. K. (2019). Balance and gait in the elderly: A contemporary review. *Laryngos. Inv. Otolaryngol.* 4 143–153. 10.1002/lio2.252
- Penteridis, L., D'Onofrio, G., Sancarlo, D., Giuliani, F., Ricciardi, F., Cavallo, F., ... & Gkiokas, A. (2017). Robotic and sensor technologies for mobility in older people. *Rejuvenation research*, 20(5), 401-410.
- Piche, E., Chorin, F., Zory, R., Freitas, P. D., Guerin, O., & Gerus, P. (2022). Metabolic cost and co-contraction during walking at different speeds in young and old adults. *Gait & Posture*, 91, 111-116.
- Pigini, L., Facal, D., Garcia, A., Burmester, M., & Andrich, R. (2012). The Proof of Concept of a Shadow Robotic System for Independent Living at Home. In K. Miesenberger, A. Karshmer, P. Penaz, & W. Zagler (Eds.), *Computers helping people with special needs. icchp lecture notes in computer science*, vol 7382. Berlin – Heidelberg: Springer.
- Pinto J. M., Wroblewski K. E., Huisinigh-Scheetz M., Correia C., Lopez K. J., Chen R. C., et al. (2017). Global Sensory Impairment Predicts Morbidity and Mortality in Older. *U.S. Adults. J. Am. Geriatr. Soc.* 65 2587–2595. 10.1111/jgs.15031
- Ramalho, A., Duarte-Mendes, P., Paulo, R., Serrano, J., & Petrica, J. (2024). Crossing the digital frontier: are older adults ready for virtual reality workouts? *Frontiers in Public Health*, 12, Article 1324004.

- Reis, A., Xavier, R., Barroso, I., Monteiro, M. J., Paredes, H., & Barroso, J. (2018). The usage of telepresence robots to support the elderly. In *2nd International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing (TISHW)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/TISHW.2018.8559549>.
- Richardson, J. P., Curtis, S., Smith, C., Pacyna, J., Zhu, X., Barry, B., & Sharp, R. R. (2022). A framework for examining patient attitudes regarding applications of artificial intelligence in healthcare. *Digital Health*, 8, 1–10. <https://doi.org/10.1177/20552076221089084>, 20552076221089084.
- Rmadi, H., Maillot, P., Artico, R., Baudouin, E., Hanneton, S., Dietrich, G., & Duron, E. (2023). Tolerance of immersive head-mounted virtual reality among older nursing home residents. *Frontiers in Public Health*, 11, Article 1163484. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1163484>
- Romeo, M., Cangelosi, A., & Jones, R. (2018). Developing a deep learning agent for HRI: Dataset collection and training. In *Proceedings of 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, Nanjing, China (pp. 1150–1155). <https://doi.org/10.1109/ROMAN.2018.8525512>
- Rosso A. L., Studenski S. A., Chen W. G., Aizenstein H. J., Alexander N. B., Bennett D. A., et al. (2013). Aging, the central nervous system, and mobility. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* 68 1379–1386.
- Salichs, M. A., Castro-González, A., Salichs, E., Fernandez-Rodicio, E., MarotoGomez, M., Gamboa-Montero, J. J., ... Malfaz, M. (2020). Mini: A new social robot for the elderly. *International Journal of Social Robotics*, 12, 1231–1249. <https://doi.org/10.1007/s12369-020-00687-0>
- Salthouse T. A. (2019). Trajectories of normal cognitive aging. *Psychol. Aging* 34 17–24. [10.1037/pag0000288](https://doi.org/10.1037/pag0000288)
- Sapci, A. H., & Sapci, H. A. (2019). Innovative assisted living tools, remote monitoring technologies, artificial intelligence-driven solutions, and robotic systems for aging societies: systematic review. In *JMIR Aging*, 2. e15429 <http://aging.jmir.org/2019/2/e15429/>
- Savage, N. (2022). The slow rise of the caring robot. Robotics technology is improving, but its routine use in the home, hospital and care settings could be a long way off. *Nature*, 601, S8–S10. <https://doi.org/10.1038/d41586-022-00072-z>

- Shen, T., Afsar, M. R., Haque, M. R., McClain, E., Meek, S., & Shen, X. (2022). Quadrupedal Human- Assistive Robotic Platform (Q-HARP): Design, control, and preliminary testing. *Journal of Mechanisms and Robotics*, 14(2), Article 021004. <https://doi.org/10.1115/1.4052321>
- Shiller, Z., & Gwo, Y.-R. (1991). Dynamic motion planning of autonomous vehicles. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(2), 241–249.
- Shinners, L., Grace, S., Smith, S., Stephens, A., & Aggar, C. (2022). Exploring healthcare professionals' perceptions of artificial intelligence: Piloting the Shinners Artificial Intelligence Perception tool. *Digit Health*, 7, 8. <https://doi.org/10.1177/20552076221078110>
- Song, G., Wang, H., Zhang, J., & Meng, T. (2011). Automatic docking system for recharging home surveillance robots. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 57(2), 428–435.
- Søraa, R. A., Nyvoll, P., Tøndel, G., Fosch-Villaronga, E., & Serrano, J. A. (2021). The social dimension of domesticating technology: Interactions between older adults, caregivers, and robots in the home. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, Article 120678. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120678>
- Stampfler, T., Elgendi, M., Fletcher, R. R., & Menon, C. (2022). Fall detection using accelerometer-based smartphones: Where do we go from here? *Frontiers in Public Health*, 10, Article 996021. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.996021>
- Stephan, K. D., Michael, K., Michael, M. G., Jacob, L., & Anesta, E. P. (2012). Social implications of technology: The past, the present, and the future. *Proceedings of the IEEE*, 100(Special Centennial Issue), 1752–1781.
- Street, J., Barrie, H., Elliott, J., Carolan, L., McCorry, F., Cebulla, A., & Smart Ageing Research Group. (2022). Older adults' perspectives of smart technologies to support aging at home: Insights from five world café forums. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7817. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137817>
- Syed-Abdul, S., Malwade, S., Nursetyo, A. A., Sood, M., Bhatia, M., Barsasella, D., & Li, Y. C. J. (2019). Virtual reality among the elderly: a usefulness and acceptance study from Taiwan. *BMC Geriatrics*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1218-8>

- Thakur, N., & Han, C.Y. (2021). A review of assistive technologies for activities of daily living of elderly. arXiv preprint:2106.12183. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.12183>.
- Tieland M., Trouwborst I., Clark B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *J. Cachex. Sarcop. Musc.* 9 3–19. 10.1002/jcsm.12238
- Walker S., Avela J., Wikgren J., Meeusen R., Piitulainen H., Baker S. N., et al. (2018). Aging and Strength Training Influence Knee Extensor Intermuscular Coherence During Low- and High-Force Isometric Contractions. *Front. Physiol.* 9:1933. 10.3389/fphys.2018.01933
- Webber S. C., Porter M. M., Menec V. H. (2010). Mobility in Older Adults: A Comprehensive Framework. *Gerontologist* 50 443–450. 10.1093/geront/gnq013
- Weck, M., & Afanassieva, M. (2023). Toward the adoption of digital assistive technology: Factors affecting older people's initial trust formation. *Telecommunications Policy*, 47 (2), Article 102483. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102483>
- WHO (2015). *WHO Report on Aging and Health. Genf*. Available online at: <https://www.who.int/ageing/events/world-report-2015-launch/en/>
- WHO (2018). *Global action plan on physical activity 2018-2030: more active people for a healthier world*. Geneva: World Health Organization
- Wilson J., Allcock L., Mc Ardle R., Taylor J. P., Rochester L. (2019). The neural correlates of discrete gait characteristics in ageing: A structured review. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 100 344–369. 10.1016/j.neubiorev.2018.12.017
- Winter D. A., Patla A. E., James S. F., Sharon E. W. (1990). Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys. Ther.* 70 340–347. 10.1093/ptj/70.6.340
- Wood, R. J. (2008). The first takeoff of a biologically inspired at-scale robotic insect. *IEEE Transactions on Robotics*, 24(2), 341–347.
- Yurtsever, E., Lambert, J., Carballo, A., & Takeda, K. (2020). A survey of autonomous driving: Common practices and emerging technologies. *IEEE Access*, 8, 58443–58469.
- Zhu, K., & Zhang, T. (2021). Deep reinforcement learning based mobile robot navigation: A review. *Tsinghua Science and Technology*, 26(5), 674–691.

Zhu, Q. (1991). Hidden Markov model for dynamic obstacle avoidance of mobile robot navigation. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 7(3), 390–397.